

# ПРОБЛЕМА ПОИСКА ЖИЗНИ ВО ВСЕЛЕННОЙ



АКАДЕМИЯ НАУК СССР  
НАУЧНЫЙ СОВЕТ ПО ПРОБЛЕМЕ "РАДИОАСТРОНОМИЯ"  
Институт космических исследований

# ПРОБЛЕМА ПОИСКА ЖИЗНИ ВО ВСЕЛЕННОЙ

ТРУДЫ ТАЛЛИНСКОГО  
СИМПОЗИУМА

Ответственные редакторы:  
академик В.А. АМБАРЦУМЯН,  
член-корреспондент АН СССР Н.С. КАРДАШЕВ,  
член-корреспондент АН СССР В.С. ТРОИЦКИЙ



МОСКВА "НАУКА"

1986

## ПРЕДИСЛОВИЕ

**Проблема поиска жизни во Вселенной.** — М.: Наука, 1986.

В сборнике содержатся материалы Всесоюзного симпозиума "Поиск разумной жизни во Вселенной", состоявшегося в Таллине в декабре 1981 г., на котором обсуждались наиболее актуальные вопросы этой проблемы. Здесь представлены наиболее интересные работы специалистов разных профилей: астрономов, астрофизиков, радиофизиков, физиков, биологов, биофизиков, философов и т.д.

В целом они дают многогранную картину современных представлений о развитии жизни во Вселенной, а также о методах и возможностях ее поиска.

Книга рассчитана на широкие круги специалистов различных направлений науки и техники.

## Рецензенты:

доктор физико-математических наук В.И. СЛЫШ,  
доктор технических наук Н.М. ЦЕЙТЛИН

## Редакторы-составители:

доктор физико-математических наук Л.М. МУХИН,  
кандидат физико-математических наук Г.Л. СУЧКИН

## ПРОБЛЕМА ПОИСКА ЖИЗНИ ВО ВСЕЛЕННОЙ

*Утверждено к печати Институтом космических исследований Академии наук СССР*

Редактор издательства Н.М. Дудолов

Художник И.Л. Максимов. Художественный редактор С.А. Литвак

Технические редакторы М.К. Серегина, Л.В. Русская. Корректор Н.И. Харламова

Набор выполнен в издательстве на наборно-печатающих автоматах

ИБ № 27971

Подписано к печати 11.09.86. Т—13862. Формат 60 X 90 1/16. Бумага офсетная № 1

Гарнитура Универс. Печать офсетная

Усл.печ.л. 16,0. Усл.кр.-отт. 16,0. Уч.-изд.л. 21,4. Тираж 12300 экз. Тип. зак. 626. Цена 1 р. 70 к.

Ордена Трудового Красного Знамени издательство "Наука"

177864 ГСП-7, Москва В-485, Профсоюзная ул., д. 90

Ордена Трудового Красного Знамени 1-я типография издательства "Наука"

199034, Ленинград В-34, 9-я линия, 12

Проблема существования и поиска жизни во Вселенной к настоящему времени стала научной дисциплиной, включающей как теоретические, так и экспериментальные исследования<sup>1</sup>. Появление этой проблемы и ее активное изучение отражает неизбежный исторический процесс космизации человеческого общества. Именно эта проблема позволяет ему рассматривать себя и свою цивилизацию в астрономических масштабах времени и пространства.

Двадцатилетние поиски сигналов внеземных цивилизаций были безуспешны — Космос молчит. Исследования других планет Солнечной системы наглядно показывают: в ней другого обиталища жизни нет. Отсюда не следует, что мы одиноки во Вселенной. Вся совокупность накопленных нами знаний говорит о распространенности жизни. По-видимому, мыслящий разум обходится природе дороже, чем мы думали, приступая к его поиску за пределами Земли. А значит и ценность разумной жизни выше. Сохранить наш общий космический корабль — Землю, приумножить ее природные богатства и передать грядущим поколениям в целостности — нет более высокой и гуманной цели для всего разумного и мыслящего на нашей планете.

Сохранение мира на Земле — это еще и необходимое условие обнаружения жизни во Вселенной. Только здоровая цивилизация, не отягощенная патологическими идеями ядерного самоубийства, в состоянии затратить средства, необходимые для обнаружения себе подобных во Вселенной.

Актуальность работ, проводимых по проблеме существования и поиска жизни во Вселенной недавно была признана мировым научным сообществом астрономов — Международным астрономическим союзом, который на своем конгрессе в 1982 г. организовал специальную комиссию (№ 51), занимающуюся теперь этой проблемой.

Всесоюзный симпозиум "Поиск разумной жизни во Вселенной" (Таллин, 7–11 декабря 1981 г.), организованный Научным советом по проблеме "Радиоастрономия", ИКИ АН СССР, НИРФИ МВО РСФСР, АН ЭССР и Институтом астрофизики и физики атмосферы АН ЭССР (Тарту), вызвал огромный интерес среди широких кругов советской и зарубежной научной общественности.

В числе зарубежных участников таллинского симпозиума был пионер поиска внеземных цивилизаций Ф. Дрейк (Корнельский университет, Итака, США). Американская делегация из числа зарубежных была самой многочисленной. В нее входили также Р. Диксон (университет штата Огайо), Дж. Тартер, С. Горовиц (НАСА—ЭЙМС-центр, Калифорния),

<sup>1</sup> В литературе по этой проблеме используют два термина — CETI (Communication with Extraterrestrial Intelligence) и SETI (Search of Extraterrestrial Intelligence), употребляемые в зависимости от акцента на связь с внеземными цивилизациями (CETI) или на их поиск (SETI).

В. Солливан (отдел астрономии Вашингтонского университета), Д. Шварцман (отделение геологии и географии Гарвардского университета), С. Гул-кис (лаборатория реактивного движения Калифорнийского технологического института, Пасадена), Дж. Гейтвуд (Аллеганская обсерватория, Питсбург) — всего 8 человек.

Франция была представлена П. Коном из Национального центра научных исследований, Япония — Югаки (Токийский университет), Канада — художником Дж. Ломбергом (Торонто). Социалистические страны были представлены М. Суботовичем (Университет им. М. Кюри-Складовской, Люблин, Польша), Г. Марксом (Университет им. Р. Этвеша, Будапешт, Венгрия), М. Марковым (Софийский университет, Болгария). Наши зарубежные гости приняли активное участие в работе симпозиума.

Проблема существования и поиска жизни во Вселенной тесно связана с изучением возникновения звезд и планет около них, закономерностей возникновения жизни на планетах и ее эволюции к разуму и цивилизациям, закономерностей развития научно-технических цивилизаций на астрономических интервалах времени, с разработкой методов поиска внеземных цивилизаций, технических средств поиска и т.д. Поэтому на симпозиум были приглашены физики, радиофизики, астрономы, астрофизики, радиоастрономы, биологи, биофизики, философы, радиоспециалисты и др.

Был подведен итог почти четвертьвекового этапа разработки проблемы поиска разумной жизни во Вселенной. Важнейшим результатом работы таллинского симпозиума является поворот к новым концепциям в вопросах жизни во Вселенной и ее обнаружения, что отражено в ряде докладов. Проблеме SETI, как и всем без исключения фундаментальным научным проблемам, предстоят длительные наблюдения, эксперименты и теоретические исследования.

Участие в работе симпозиума представителей самых различных наук привело к широким положительным дискуссиям, как на заседаниях симпозиума, так и в его кулуарах. К сожалению, объем сборника не позволяет воспроизвести эти дискуссии. Поэтому было решено предоставить авторам возможность учесть результаты дискуссий непосредственно в докладах. Надеемся, что в этом сборнике удалось передать атмосферу симпозиума и его главные научные результаты.

## ОБЩИЕ ВОПРОСЫ ВОЗНИКНОВЕНИЯ И РАЗВИТИЯ ЖИЗНИ ВО ВСЕЛЕННОЙ

УДК 524.8

*В.С. Троицкий*

### НАУЧНЫЕ ОСНОВАНИЯ ПРОБЛЕМЫ СУЩЕСТВОВАНИЯ И ПОИСКА ВНЕЗЕМНЫХ ЦИВИЛИЗАЦИЙ

Проблема, о которой идет речь, поставлена человечеством тысячелетия назад, но дальше гипотезы о множественности обитаемых миров и религиозной догмы об уникальности и единственности земной цивилизации изучение этой проблемы в то время продвинуться не могло. Идеи множественности обитаемых миров придерживались передовые мыслители тех времен, расплачиваясь за отрицание господствовавших религиозных представлений о мире своей жизнью. Но никакие гонения и даже костер инквизиции, испепеливший тело Джордано Бруно, не смогли уничтожить ростки нового понимания роли и места человека во Вселенной.

Только теперь проблема существования и поиска жизни во Вселенной стала доступной для научного исследования. Отличительной особенностью этой проблемы является то, что в ней синтезируются все научные дисциплины, созданные человечеством. Таким образом, дифференциация науки, идущая по мере углубления знаний, здесь уступает место интеграции всевозрастающего числа дисциплин.

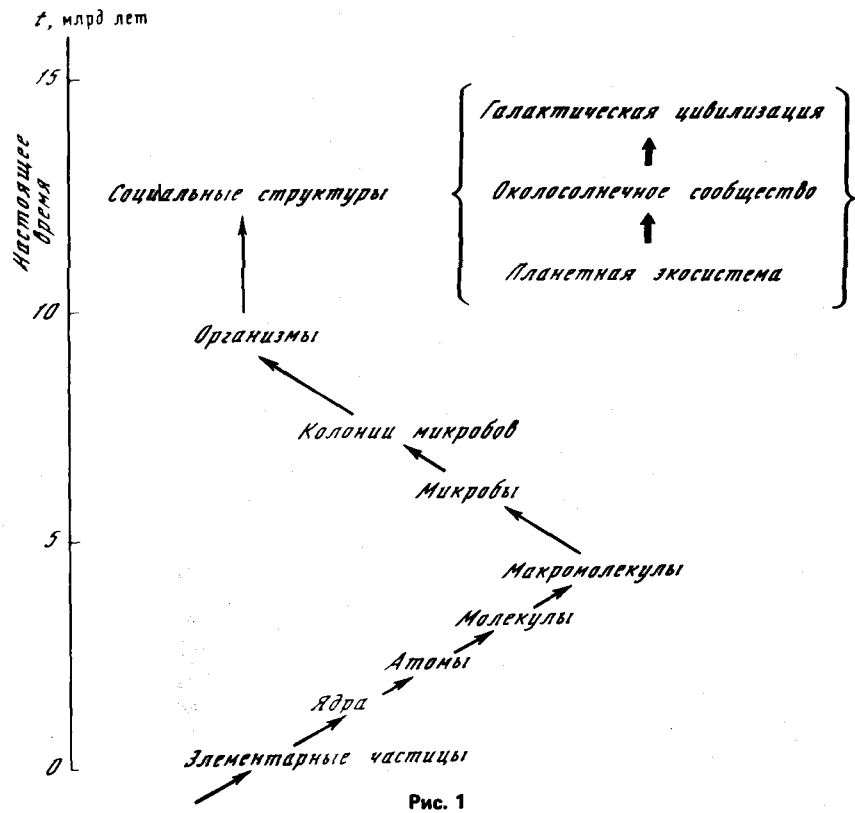
В настоящей статье мы попытаемся сформулировать экспериментальные и теоретические основы исследования проблемы существования и поиска жизни во Вселенной.

#### 1. НАУЧНЫЕ ОСНОВАНИЯ СУЩЕСТВОВАНИЯ ЖИЗНИ И ЦИВИЛИЗАЦИЙ ВО ВСЕЛЕННОЙ

В настоящее время вся совокупность наук человеческой цивилизации позволяет сделать неопровержимый вывод о возможности и большой вероятности существования жизни, в том числе разумной, в подходящих для этого местах Вселенной, в частности в нашей Галактике [1–5].

Физика и астрофизика установили факт тождественности физических законов во всей видимой части Вселенной. Астрономия показала, что Солнце и наша Галактика по различным параметрам являются рядовыми "средними" объектами Вселенной среди множества им подобных.

Однако пока не удалось непосредственно увидеть планетные системы даже у ближайших к нам звезд из-за далеко недостаточных возможностей существующих телескопов. В настоящее время, по-видимому, получены лишь косвенные указания на существование у ближайших звезд планетных систем. Наблюдаемые периодические колебания положения звезд Барнарда, ε-Эридана, 61 Лебеда и др. могут быть объяснены единственным образом — существованием достаточно больших юпитероподобных невидимых спутников звезды, т.е. планет.



Для того чтобы возникла жизнь, необходимо наличие определенных атомов. Все живое состоит в основном из водорода, кислорода, азота, углерода и незначительного количества более тяжелых элементов от фосфора и кальция до железа. Эти элементы, как сейчас установлено астрофизикой, возникли в недрах первичных звезд, состоявших из водорода и гелия. Элементы тяжелее водорода образовывались в недрах звезд первичного поколения при их сжатии благодаря вспыхивавшей термоядерной реакции. Затем следовали взрыв, сброс оболочки звезды и образование звезд второго поколения с планетами вокруг них, что привело к созданию множества мест, богатых необходимыми элементами и их соединениями.

Органические соединения на образовавшихся планетах могли возникать в ходе последующего теплового процесса в истории развития планет. Суть этого процесса в разогреве недр планеты вследствие радиоактивного распада урана, тория и калия-40 и в выносе на поверхность горячих расплавленных масс. Взаимодействие с водой могло привести к образованию сложных органических соединений, послуживших основой для возникновения живой клетки.

Вопрос происхождения органических соединений получил новое освещение, когда совершенно неожиданно радиоастрономические методы позволили обнаружить в туманностях около 50 различных, в том числе органических, соединений, содержащих более десятка атомов в молекуле. Были обнаружены соединения, являющиеся основой белков живых организмов.

Таблица 1  
Аргументы в пользу существования внеземных цивилизаций

Наука	Факты
Физика Химия Астрономия	Тождественность физических и химических законов во Вселенной
Астрономия	Ординарность Солнца, Галактики. Большое количество солнцеподобных звезд в Галактике и подобных галактик во Вселенной
Астрономия	Обилие двойных звезд, косвенные измерения, указывающие на существование внесолнечных планет
Радиоастрономия	Обилие органических соединений, обнаруженных в Галактике и других галактиках
Химия Космология	Открытие химической эволюции Вселенной
Биология	Существование закономерной биологической эволюции, эволюционное возникновение земной цивилизации

Есть основания полагать, что в этих туманностях идет интенсивное звездообразование и вполне возможно, что образуются планеты с уже подготовленными органическими соединениями, которые вовсе не обязательно должны разрушаться в процессе конденсации планет.

Космология довольно надежно установила пути эволюции вещества во Вселенной от нуклеосинтеза тяжелых атомов до образования неорганических соединений. Но науке пока совершенно не ясен переход от неживых органических соединений к живым, т.е. способным к самовоспроизведению по определенному рецепту — генетическому коду. Этот переход к высшей организации вещества остается темным местом в цепи общей эволюции материи.

Сказанное об эволюционном развитии вещества во Вселенной по современным представлениям можно изобразить в схематическом виде (рис. 1).

Все изложенные аргументы современной науки в пользу существования множества обитаемых миров приведены в табл. 1.

Таким образом, наука проследила отдельные отрезки пути эволюции от элементарных частиц до живого разумного существа.

## 2. ПРОБЛЕМА ПОИСКА ЖИЗНИ ВО ВСЕЛЕННОЙ

Итак, современная наука позволяет сделать вывод о возможности зарождения жизни и ее развития до разумных существ во многих местах Вселенной на подходящих планетах подходящих звезд в нашей Галактике и в других галактиках. Гипотеза о возникновении жизни и ее эволюционном развитии на внесолнечных планетах так и будет гипотезой, если не сделать следующего шага, заключающегося в экспериментальном исследовании. Радикальным способом экспериментального решения вопроса было бы непосредственное исследование окрестностей звезд с помощью автоматических и обитаемых кораблей, развивающих скорость, сравнимую со скоростью света. Однако это вряд ли будет осуществлено раньше, чем через два-три столетия, и то только для ближайших к Солнцу звезд. Прямое исследование сейчас возможно только для тел Солнечной системы. В ближайшее время будет точно установлено, имеются ли какие-либо простейшие

формы жизни на околосолнечных планетах и их спутниках. Это будет важным достижением науки.

Таким образом, для поиска жизни около других звезд можно рассчитывать лишь на дистанционные исследования, что исключает, по крайней мере в обозримом будущем, всякую возможность обнаружения простейших форм, в том числе и разумных форм жизни, не вступивших на путь технического развития.

Оставаясь в рамках земной науки, т.е. реального научного подхода, можно говорить о поиске и обнаружении жизни лишь в форме развитых цивилизаций разумных существ, вступивших на путь технологического развития.

Вместе с внеземными цивилизациями (ВЦ) несомненно должны существовать и низшие формы, о которых мы сможем узнать от ВЦ в случае ее обнаружения и установления хотя бы односторонней связи. Установление двусторонней связи будет иметь какую-либо значимость только для небольших расстояний, исчисляемых, вероятно, лишь десятками световых лет. Каким же способом осуществлять дистанционный поиск ВЦ?

### 3. ПУТИ ПОИСКА СВИДЕТЕЛЬСТВ ЖИЗНИ ВО ВСЕЛЕННОЙ

Более двадцати лет назад в журнале "Nature" Дж. Коккони и Ф. Моррисон обратили внимание на тот факт, что при современном состоянии радиотехники возможно установление двусторонней радиосвязи между цивилизацией в нашей Галактике. Но для этого обоим корреспондентам нужно знать длину волны, направление посылки и приема радиосигналов и время связи. Заслугой авторов работы явилось предположение, что для связи следует выбрать волну 21 см, потому что она должна быть известна всем цивилизациям как излучение нейтрального межзвездного водорода. На этой волне человечеством непрерывно ведутся радиоастрономические исследования распределения водорода в Галактике и других галактиках, что повышает вероятность случайного обнаружения излучения, посылаемого какой-либо ВЦ на длине волны 21 см с целью обратить на себя внимание и получить ответные сигналы.

После этой работы немедленно начался поиск таких сигналов с помощью существовавших уже к тому времени больших радиотелескопов. Поиск основывался на предположении, что может существовать цивилизация с достаточно большим возрастом в технологической фазе, которая раньше нас начала подавать сигналы в космос.

Вообще говоря, поиск разумной жизни во Вселенной базировался на предположении о существовании взаимного желаяния, по крайней мере у некоторых цивилизаций, найти друг друга.

Естественно, возникает вопрос: не могут ли быть другие, более прочные, неизбежные физические пути получения информации о существовании цивилизаций, не зависящие от их желаяния искать себе подобных? В итоге двадцатилетних теоретических исследований проблемы поиска ВЦ предложен и частично изучен ряд возможных путей получения информации, свидетельствующей о существовании ВЦ. Рассматривался следующий ряд неизбежных проявлений существования ВЦ в космическом масштабе.

1. Электромагнитное излучение в результате технологической деятельности цивилизации.

2. Межзвездные перелеты, организуемые мощными ВЦ с околосветовыми скоростями.

3. Следы посещения Солнечной системы и Земли развитыми ВЦ. Колонизация Галактики.

4. Астроинженерная деятельность развитых цивилизаций.

Рассмотрим эти возможности. Наиболее детально исследован способ обнаружения по непреднамеренному радиоизлучению, указанный впервые И.С. Шкловским [1]. Такое излучение может создавать телевидение, локация и внутренняя связь в пределах зоны расселения около своей звезды. Оказалось, например, что излучение несущей частоты земного телевидения может быть обнаружено средствами приема, которыми владеет земная цивилизация, с расстояния до 10 св. лет, а излучение мощных локаторов с расстояния до 30 св. лет. Для существенного увеличения дальности требуются приемные антенны в десятки и сотни километров, что в принципе вполне реализуемо. Обнаружение несущей частоты земного телевидения позволит по характеру изменения частоты за счет эффекта Доплера определить все параметры земного шара, направление оси и скорость собственного вращения, диаметр планеты, период обращения вокруг Солнца, наличие у Земли естественного спутника — Луны, и даже характер распределения населения по поверхности Земли [6].

Межзвездные перелеты способами, известными в настоящее время, требуют огромной энергии. Даже разгон до децисветовой скорости небольшой автоматической ракеты, например по проекту "Дедал", для полета к звезде Барнарда требует  $10^{18} - 10^{19}$  Вт в течение одного-двух лет разгона и такого же торможения. Поскольку при работе такого двигателя происходит выброс плазмы в пространство со скоростью, равной 0,2 с (с — скорость света), и с магнитным полем  $10^{-4} - 10^{-5}$  Гс, то неизбежно возникает синхротронное радиоизлучение, которое может быть замечено современными средствами, по-видимому, на расстояниях около 100 св.лет. Однако количественный расчет излучения и возможностей его приема пока ждут своего детального исследования.

Если говорить о кораблях, движущихся с околосветовой скоростью, то требуемая мощность фантастична, и, по-видимому, даже "скромная" мощность двигателя, равная мощности светового излучения Солнца —  $10^{26}$  Вт, может быть замечена в пределах всей Галактики имеющимися на Земле радиотелескопами. Это были бы необычные объекты, "искусственность" которых могла бы быть расшифрована.

Наиболее острым является вопрос о свидетельствах палеоконтактов, т.е. посещения в прошлом Солнечной системы и Земли кораблями развитых цивилизаций. Естественно думать, что цивилизации, которые живут и развиваются в технологической фазе десятки и сотни тысячелетий, могут освоить космические межзвездные перелеты, и постепенно перелетая от одной звезды к другой, где есть планеты с подходящими условиями, колонизировать всю Галактику. Выполнено много расчетов скорости освоения. При этом использовался один и тот же сценарий — посылка корабля со скоростью 0,1 с к ближайшей звезде на расстояние 10 св.лет со ста пассажирами. Далее порядка тысячи лет займет размножение населения до уровня нескольких миллиардов человек, после чего следует новый полет ста пассажиров и т.д. Оказалось, что для освоения или колонизации всей Галактики потребуется всего около десятка миллионов лет. Следовательно, вопрос о возможности колонизации Галактики сводится к вопросу о том, можно ли ожидать существования в настоящий момент цивилизаций, имеющих многие миллионы лет технологической эры жизни?

По данным космологии, возраст Вселенной составляет около 15 млрд лет, а возраст галактик ~ 12 млрд лет. Учитывая, что по примеру Земли требуется ~ 4 млрд лет эволюции от клетки до космической цивилизации, получаем, что цивилизации в технологической фазе могли возникнуть ~ 8 млрд лет назад.

Таким образом, должно быть много старых космических цивилизаций, начавших осваивать Галактику несколько миллиардов лет назад и, согласно расчетам, давно освоивших ее. По этим расчетам Солнечная система и Земля могли неоднократно посещаться, о чем возможно имеются материальные свидетельства. В силу сказанного проблема палеоконтактов должна серьезно изучаться. Имеющиеся попытки трактовки некоторых материальных данных как свидетельств палеоконтактов, к сожалению, недостаточно аргументированы, а порою просто поверхностны. В настоящее время, по-видимому, надо считать, что палеоконтакт не доказан, неоспоримых свидетельств посещения Солнечной системы и Земли нет.

Если считать неизбежным заселение всей галактики, то тем более неизбежным и необходимым будет наиболее полное освоение цивилизацией зоны обитания около своей звезды по мере развития и увеличения численности населения. Это должно привести к строительству, как их называл К.Э. Циолковский, "эфирных" городов. Сейчас уже создаются технические проекты таких поселений на сотни тысяч обитателей. Таким образом, неизбежно создание в космосе больших инженерных сооружений, т.е. астроинженерная деятельность цивилизации.

Можно в принципе мыслить создание такого плотного кольца орбит с искусственными поселениями, которые перекроют значительную часть потока световой энергии своей звезды. Так возникла известная сфера Циолковского—Дайсона. Если инженерные сооружения перекрывают весь поток, что, в принципе, возможно, то извне такая система будет казаться гигантской инфракрасной звездой размерами более 1 а.е. Отсюда возникла мысль искать такие объекты и они были найдены, но характеристики их излучения совсем не похожи на ожидаемые характеристики искусственного сооружения.

Мы рассмотрели указанные выше пути поиска разумной жизни во Вселенной. Надо сказать, однако, что все они, по существу, относятся к поиску в объеме своей Галактики, так как объекты Метагалактики слишком удалены, чтобы надеяться фиксировать какие-либо из указанных свидетельств жизни на межгалактических расстояниях.

В приводимом нами анализе мы опираемся на поиск человекоподобной цивилизации, находящейся, по крайней мере, примерно на том же научно-техническом уровне, только может быть с той разницей, что она овладела способами неограниченного производства энергии. При этом мы считаем, что цивилизация пользуется теми же законами природы, которые известны на Земле и которыми мы пользуемся в своей технологической деятельности. Мы не основываемся на возможности знания цивилизацией новых, неизвестных нам законов, так как в этом случае это было бы не научное исследование, а научная фантастика.

#### 4. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ ТЕОРИИ ВЦ. ПРОТИВОРЕЧИЯ МЕЖДУ ВЫВОДАМИ ТЕОРИИ И ОПЫТОМ

Изложенные выше направления поиска свидетельств существования антропоморфной цивилизации во Вселенной основываются на ряде теоретических положений о возникновении и закономерностях развития цивилизаций. Эти положения можно сформулировать так:

1) жизнь во Вселенной возникает непрерывно, начиная с образования звезд второго поколения, т.е. примерно в течение последних 12 млрд лет;

2) внеземные космические цивилизации возникают эволюционным путем непрерывно последние ~8 млрд лет;

3) существует закон неограниченной экспансии разумной жизни, т.е. стремление исследовать и занять максимальное пространство;

4) цивилизации достигают уровня, при котором возможна практически неограниченная скорость непрерывного производства энергии.

Первое положение основывается на молчаливо общепринятом мнении, что жизнь как функция материи возникает непрерывно по мере достижения определенной организации материи во Вселенной в ее эволюционном развитии. Начало этого процесса после Большого взрыва определяется сроками синтеза всего набора тяжелых элементов и образования звезд с планетами. Как уже говорилось, космология дает для возраста Вселенной ~15 млрд лет. Трех миллиардов лет по теоретическим моделям вполне хватает для образования водородно-гелиевых звезд первого поколения, синтеза внутри них тяжелых элементов, рассеяния и конденсации в звезды второго поколения с планетами. Отсюда получается, что начавшийся после этого период, когда стало возможным возникновение жизни, длится уже ~12 млрд лет.

После этого начинается эволюционное развитие форм жизни около каждой из звезд, где она возникла, от клетки до технологической цивилизации, на что на Земле ушло около 4 млрд лет. Принимая этот срок за некоторую среднюю оценку, необходимую для возникновения разума и цивилизации, получаем второе положение, которое, как видно, является переносом земного опыта на всю Вселенную. Это может быть основано только на убеждении, что законы эволюции живого, установленные эволюционной биологией, являются универсальными и действуют во всей Вселенной.

Третье и четвертое положения, по существу, тоже основаны на земном опыте.

Закон неограниченной экспансии жизни для простейших ее форм является внутренним (неосознанным) императивом. Для разумных социальных форм жизни в естественный процесс экспансии вмешиваются начала разумного регулирования, т.е. цели и другие социально-экономические категории. Вместе с этим возникают и новые мощные импульсы экспансии разума, такие, как познание Вселенной.

Четвертое положение — результат достижений науки и технологии последних десятилетий. Овладение термоядерной энергией позволяет иметь практически неограниченные возможности производства любых видов энергии. Наша цивилизация находится на пороге этого качественно нового рубежа своего развития.

Непрерывность возникновения жизни и цивилизаций во Вселенной, а также возможность производства неограниченных количеств энергии были главными теоретическими положениями, на которых строились выводы о существовании ярких свидетельств деятельности космических цивилизаций во Вселенной [7].

Действительно, неограниченные возможности энергопроизводства и большое время жизни в технологической фазе старых цивилизаций допускают все, что только не противоречит законам природы (физики, химии, биологии и др.). Возможно создание гигантских астроинженерных сооружений, посылка мощнейших электромагнитных сигналов на всю Вселенную, даже передвижение звезд, их столкновения, взрывы и т.п. Одним словом, возможна перестройка всей Галактики.

Ряд исследователей считают, что раз это не запрещено законами физики, то многие из этих возможностей обязательно должны быть осуществлены. Это положение привело выводы теории к резкому расхождению с наблюдательными данными. Выводы теории приводят к неиз-

бежной колонизации Галактики, существованию "космических чудес", связанных с космической деятельностью сверхцивилизаций, существованию мощных электромагнитных сигналов, легко принимаемых на простейшие средства, которыми, например, владеют даже младенческие цивилизации, только что достигшие технологической фазы развития, вроде нашей земной цивилизации и т.п. Ничего похожего не наблюдается, даже специальные поиски сигналов не дали положительных результатов. Космос молчит — так резюмируется в настоящее время отсутствие каких-либо свидетельств существования ВЦ выше порога наблюдательных возможностей, достигнутых нашей цивилизацией.

Отсюда, вообще говоря, можно сделать один из трех выводов: либо неверна теория, либо недостаточны наблюдательные данные, или же теория верна, но внеземных цивилизаций нет вообще, а наша цивилизация уникальна и единственна, по крайней мере в нашей Галактике. Этот последний радикальный вывод был сделан сначала Хартон, затем И.С. Шкловским [1]. Выдвигались и другие, менее радикальные утверждения о том, что цивилизации, достигнув технологической фазы, быстро погибают, например от загрязнения окружающей среды, ядерной войны и т.п., не успевая решить проблемы связи с другими цивилизациями и освоить другие звездные системы и галактики.

Утверждение об уникальности земной цивилизации фактически вступает в конфликт с приведенными выше выводами науки о множественности подходящих мест для возникновения и развития жизни во Вселенной и о большой вероятности возникновения там жизни путем той же химической и биологической эволюции. Нам представляется, что, скорее всего, неверны некоторые положения теории возникновения и развития жизни и цивилизаций [4, 8, 9].

Прежде всего, думается, надо отказаться от положения, что все незапрещенное физическим законом будет обязательно реализовано. Надо искать предельные возможности в развитии цивилизации, определяемые не только физическими, но и биологическими и социальными требованиями. Это очень сложно и кажется полностью неопределенным, поскольку социальные закономерности вряд ли могут быть предсказаны на астрономические сроки. Для цивилизации важны такие категории, как цель, целесообразность, затраты труда, времени, энергии и материальных ресурсов.

Однако практически все указанные категории связаны с энергопроизводством и, что ценно, могут быть выражены через него количественно. Энергопроизводство определяет материальный и духовный прогресс общества. Возможности цивилизации целиком будут определяться возможностями энергопроизводства. Имеются ли здесь безграничные возможности, как это считается рядом исследователей?

## 5. ПРЕДЕЛЬНЫЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ЦИВИЛИЗАЦИИ

Рассмотрим цивилизацию, которая для обеспечения жизни и деятельности производит некоторое количество энергии сверх энергии своей звезды, достигающей обычно планеты.

Достижение любой цели цивилизации требует трудовых, материальных и энергетических затрат. Условия достижения цели можно полностью характеризовать энергетическими затратами  $Q$ . Они складываются из затрат энергии на поддержание условий жизни исполнителей и затрат энергии собственно на работу для достижения цели. Эта энергия в конечном счете переходит в тепло и дополнительно нагревает место обитания ци-

вилизации — планету. Величина дополнительного нагрева планеты зависит только от скорости производства энергии  $A = Q/t$ , где  $t$  — время достижения цели. Как показывают расчеты, дополнительное производство энергии в среде обитания может составить не более тысячной доли получаемой от звезды энергии [4, 8]. Так, например, Земля получает от Солнца  $10^{17}$  Вт. Цивилизация для поддержания своего существования на современном уровне дополнительно производит  $10^{13}$  Вт, т.е. 2,5 кВт на человека. При производстве  $10^{15}$  Вт, т.е. одной сотой от получаемой от Солнца энергии, средняя температура на Земле повысится на  $0,75^\circ\text{C}$ , что уже приведет к сильнейшим изменениям в природе планеты.

Величина производимой цивилизацией энергии сверх энергии звезды зависит, разумеется, от величины поверхности, по которой расселена цивилизация. Чем большую энергию своей звезды перехватывает цивилизация, тем большую энергию она может дополнительно произвести. Если сфера обитания непрерывно охватывает всю звезду, то тысячная доля дополнительного производства энергии будет огромна. Для солнечной цивилизации это составит около  $10^{23}$  Вт.

Однако никто не подумал серьезно о том, каким образом полностью экранировать излучение своей звезды, создав сферу Циолковского—Дайсона. Как очевидно, экранировка должна осуществляться телами, движущимися по орбитам в зоне обитания. Например, чтобы перекрыть всю энергию Солнца, нужно создать на орбитах вокруг него 4 млрд сфер размерами с Землю! Вряд ли можно так расположить орбиты в сферическом слое, не выходя из зоны обитания порядка одной астрономической единицы (в пределах расстояния от Венеры до Марса), чтобы эта система была устойчивой. По-видимому, практически возможен перехват только определенной доли энергии звезды, например миллионной, для чего, однако, нужно создать 4 тыс. сооружений размером с Землю каждая!

Кстати, даже такое грандиозное космическое сооружение, перекрывающее всего миллионную часть потока, вряд ли может быть замечено какими-либо современными средствами. Ведь при этом только миллионная часть световой энергии звезды будет перерабатываться в инфракрасное излучение.

При миллионной доле перехвата энергии Солнца цивилизация будет получать только  $10^{20}$  Вт и может дополнительно произвести  $10^{17}$  Вт, т.е. примерно в 10 тыс. раз больше теперешнего уровня. Если даже вся эта мощность будет направлена на посылку всенаправленного сигнала, то это даст дальность связи не более 100 св. лет. Но если учесть, что на каждой из 10 тыс. планет будет население с такой же численностью, как на Земле, то все дополнительные  $10^{17}$  Вт уйдут на поддержание жизни населения. Таким образом, не только неограниченной, но даже достаточной свободной энергией цивилизации располагать не могут. Подобные идеи экономических ограничений энергопроизводства разработаны также в докладе К.К. Ребане (см. с. 30 наст. сб.).

У космической цивилизации, овладевшей возможностью производства неограниченного количества энергии, будут заботы о том, как ограничить скорость ее производства, чтобы не перегреть среду и в то же время удовлетворить все нужды цивилизации. Таким образом, вместо проблемы, как увеличить энергопроизводство, характерной для современного уровня развития земной цивилизации, будет возникать проблема, как ограничить производство энергии, предназначенной для достижения тех или иных целей.

Потребление энергии цивилизацией зависит от



ления, определяемое законами физики. Для пояснения этого приведем сформулированное в [4], как представляется, довольно полное функциональное определение цивилизации как "общности разумных существ, характеризуемой обменом энергией, массой и информацией внутри себя и с внешней средой с целью поддержания жизни и прогрессивного развития". При этом очевидно, что время обмена, равное расстоянию, деленному на скорость обмена, должно быть много меньше характерного времени различных жизненно важных процессов в цивилизации. При скорости обмена массой и энергией  $\sim 0,1$  с размеры цивилизации не должны превышать нескольких световых часов. Это эквивалентно расселению в пределах орбиты Урана. Однако внешние замарсианские поселения должны будут производить дополнительную энергию, чтобы компенсировать нехватку солнечной энергии для создания приемлемых температурных условий.

Необходимость обмена массой и информацией при ограниченности скорости обмена скоростью света делает практически нереальным образование галактической цивилизации, о которой часто пишут фантасты.

Таким образом, цивилизация будет ограничена пространством обитания около своей звезды и, следовательно, ограничена в производстве энергии. Можно, однако, несколько ослабить запрет на производство энергии, если процессы, требующие большого энергопотребления, выносить достаточно далеко за пределы среды обитания, например на Луну. Но при этом не следует забывать, что для связи с объектом нужен будет космический транспорт и нужно считать, не будет ли при этом в среде обитания выделено больше энергии, чем вынесено. Следует, однако, сказать, что если расселение возможно на астроинженерных сооружениях, которые имеют массу, много меньшую земной, и небольшое гравитационное поле, то космический транспорт между такими объектами может быть не очень энергоемким. В этом смысле расселение на планетах менее удобно, так как требуются большие скорости отрыва для космического транспорта.

Из сказанного очевидно, что допускаемая скорость выделения цивилизацией энергии является в космическом масштабе весьма скромной величиной, которая не может обеспечить "космического чуда".

Ограничение скорости производства энергии накладывает жесткие ограничения на время выполнения той или иной задачи. Так, если для создания какого-либо космического сооружения требуется энергия  $Q$ , то срок создания будет определяться допустимой скоростью энергопроизводства  $A$ , т.е.  $t = Q/A$ . В частности, например, для строительства мощного всенаправленного радиомаяка, обеспечивающего дальность действия 1000 св. лет и удаленного от Земли на безопасное расстояние  $\sim 100$  а.е., потребуется, как показали простые расчеты,  $\sim 10^{33}$  Дж. При предельной скорости энергопроизводства  $10^{20}$  Вт для строительства потребуется время  $10^{13}$  с, т.е.  $\sim 300$  тыс. лет [4]. Конечно, никакая цивилизация такого маяка строить не будет. Это решение, как видится, вытекает из сопоставления целей и затрат, а значит, является социальным актом.

Мы привели крайние, максимальные оценки энергетических возможностей цивилизации. На самом деле они будут еще скромнее. Таким образом, главная причина сдерживания скорости энергопроизводства — это требование охраны среды обитания от энергетического загрязнения и нарушения экологических условий. Сказанное выше объясняет отсутствие мощных всенаправленных радио- и оптических сигналов искусственного происхождения из космоса.

Однако эти ограничения не исключают межзвездные перелеты и колонизацию Галактики, хотя, может быть, существенно их затрудняют.

Еще одним изменением теоретических положений является предложенная автором гипотеза одноразового взрывного происхождения жизни во Вселенной в определенной фазе ее эволюции на подходящих планетах [9]. В самом деле, разве доказано, что жизнь возникает непрерывно по мере образования планет с подходящими условиями? Этих доказательств нет. Скорее всего, возникновение жизни — такой сложной высшей формы организации материи — произошло однократно как закономерный этап эволюции Вселенной в целом на сложившихся к тому времени планетных системах и позднее жизнь спонтанно не возникала. Это означает, что жизнь на других подходящих для этого планетах возникла, как и на Земле, 4 млрд лет назад. Далее началось эволюционное развитие, которое на Земле потребовало 4 млрд лет для того, чтобы возникла технологическая цивилизация, существующая в этой фазе еще менее 100 лет. На разных планетах из-за различных внешних условий эволюция могла идти с разными скоростями, однако вероятнее всего, что скорость эволюции определяется внутренними законами развития биосистем, которые мало отличаются друг от друга. При этом получается, что технологические цивилизации только начинают возникать и нет очень старых цивилизаций с длительной фазой технологической эры. Может даже оказаться, что наша цивилизация первая в Галактике вышла на технологический уровень и мы временно одиноки. Отсюда ясно, что рано ожидать колонизации Галактики, она может быть осуществлена в будущем.

Ф. Дрейк на основании существующего предположения о непрерывном в течение последних 12 млрд лет возникновении жизни построил теорию населенности Галактики [3, 10]. При ограниченном сроке жизни число одновременно существующих цивилизаций в технологической фазе  $N_c = R_c L$ , где  $R_c$  — скорость возникновения цивилизаций, а  $L$  — их время жизни в технологической фазе. При неограниченном сроке жизни  $N_c = R_c(t - t_1)$ , где  $t_1 = 5-7$  млрд лет — момент времени в прошлом, когда началось возникновение цивилизаций.

Для предложенной нами гипотезы технологические цивилизации начинают появляться около некоторого момента времени  $t_c$  по случайному закону. Будем полагать, что число цивилизаций, выходящих на технологический уровень за малый интервал времени  $dt$ , определяется гауссовым законом распределения, т.е.

$$dN_c(t) = R_c dt = \frac{N_{pc}}{\sqrt{2\pi\tau}} \exp\left[-\frac{(t-t_c)^2}{2\tau^2}\right].$$

Здесь  $N_{pc}$  — максимальное число цивилизаций, которые могут образоваться на  $N_p$  планетах, где зародилась жизнь, причем в общем случае  $N_{pc} \leq N_p$ ;  $t_c$  — момент в прошлом или будущем, соответствующий максимуму скорости образования технологических цивилизаций. Это время  $t_c$  близко к настоящему моменту  $t_0$ . Интегрируя приведенное выражение, получим:

$$N_c(t) = \frac{N_{pc}}{\sqrt{2\pi\tau}} \int_{-\infty}^t \exp\left[-\frac{(x-t_c)^2}{2\tau^2}\right] dx = N_{pc} \left[ \frac{1}{2} \mp \text{ers}\left(\frac{|t-t_c|}{\tau\sqrt{2}}\right) \right] = N_{pc} \varphi(t - t_c).$$

Здесь  $\text{ers}$  — табулированная функция — знак "—" берется при  $t \leq t_c$ , знак "+" — при  $t \geq t_c$ .

На рис. 2 представлены графики зависимости  $N_c(t)$  для обеих теорий. Из графиков рис. 2,а видно, что, по Дрейку, число цивилизаций при неограниченном сроке жизни растет линейно со временем. При этом в ней действуют цивилизации всех технологических возрастов от нуля до 5–8 млрд лет. Если срок жизни ограничен, то число живущих одновременно цивилизаций неизменно (сколько нарождается, столько и отмирает), но растет число кладбищ цивилизаций.

На рис. 2,б изображена зависимость  $N_c(t)$ , когда  $t_c \sim t_0$ , а дисперсия  $\tau \sim 1$  млрд лет. По новой концепции при неограниченной жизни число цивилизаций стремится к пределу, заданному числом планет с возникшей жизнью. Цивилизации начали возникать где-то вблизи настоящего момента времени. При конечном сроке жизни все цивилизации погибают.

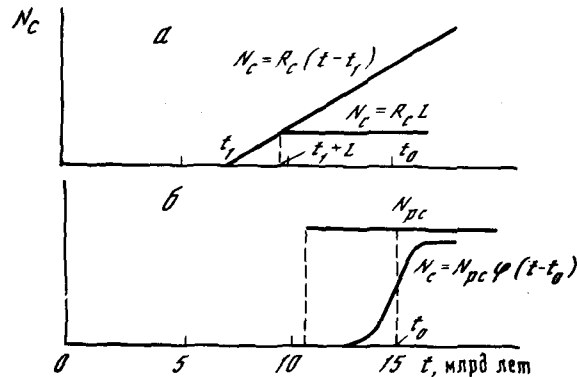


Рис. 2

Новая концепция, кроме объяснения наблюдений, привлекательна еще и тем, что не требует ограничения срока жизни цивилизации иными рамками, чем срок жизни всей Вселенной.

Главное в предложенной гипотезе — это предположение о более позднем начале возникновения жизни во Вселенной, чем полагалось ранее. При этом можно оставить в силе предположение о непрерывном возникновении жизни в более позднем периоде, не вводя взрывного однократного возникновения жизни.

Таким образом, новые теоретические положения можно сформулировать:

— жизнь во Вселенной возникла на подходящих планетах одновременно и однократно как взрыв около 4 млрд лет назад или возникает непрерывно, но также лишь последние 4 млрд лет;

— существует закон неограниченной экспансии разумной жизни;

— цивилизация развивается в условиях ограничения скорости энергопроизводства. Предельный уровень скорости энергопроизводства определяется условиями сохранения среды обитания и на пять-шесть порядков меньше мощности излучения своей звезды.

Отсюда вытекает ряд следствий, например, что ВЦ возникают в основном около современного момента жизни Вселенной, когда прошел достаточный срок их эволюции. Далее, ограничение скорости энергопроизводства, естественно, приводит к ограничению скорости решения задач и достижения целей цивилизации.

Новые теоретические положения оказывают влияние на выработку стратегии поиска свидетельств существования ВЦ. Мы рассмотрим наиболее разработанную в течение прошедших двух десятилетий поиска стратегию и методы поиска сигналов в радиодиапазоне волн.

Содержание проблемы поиска радиосигналов состоит в том, что нужно, вообще говоря, искать сигнал неизвестно на какой частоте, неизвестно из какого направления на небе и неизвестно в какое время. Упрощенно говоря, существует три неизвестных: длина волны  $\lambda$ , направление  $\Omega$  и время  $t$ . Менее существенными неизвестными являющимися полоса  $\Delta f$  передачи, доплеровское смещение частоты, поляризация сигнала — эти параметры системы приема-передачи могут быть оценены достаточно однозначно. Поляризация сигнала, очевидно, должна быть круговой, так как линейная поляризация в процессе распространения в магнитно-активной межзвездной плазме будет испытывать фарадеевское вращение. Круговая поляризация не испытывает искажений при распространении, и кроме того, может быть принята также на антенне с линейной поляризацией.

Исключить влияние взаимных скоростей передающей и принимающей цивилизаций можно, если обе они будут знать взаимные радиальные скорости своих звезд, так как скорости планет относительно своей звезды каждая цивилизация может учесть и скомпенсировать. Однако даже и без учета влияния взаимных радиальных скоростей неопределенность в частоте, вносимая доплеровским эффектом, приводит к незначительной величине сдвига порядка  $v/c$ , где  $v$  — взаимная скорость в среднем  $\leq 100$  км/с. При этом смещение частоты составит  $\sim 0,3 \cdot 10^3$  от рабочей.

Несколько сложнее определить необходимую ширину полосы приема. Считается, что передающий сигнал должен обладать в максимальной степени признаком искусственности. Таким сигналом является по возможности строго монохроматический сигнал с высокостабильной частотой излучения [2].

Подобные сигналы могут генерироваться кварцевыми и атомными стандартами радиочастот. Ширина спектральной линии этих генераторов весьма узкая; она определяется естественными шумами в системе и исчисляется сотыми долями герца. При этом допускается медленная модуляция для передачи смыслового сообщения, которая мало расширяет спектр сигнала.

Таким образом, полоса приема может быть весьма узкой, но ее придется расширять для того, чтобы в нее уложилась частота передатчика, сдвинутая на неопределенную величину из-за эффекта Доплера. Однако расширение полосы приема нежелательно из-за вызываемого этим уменьшения чувствительности приема. Решение вопроса обеспечивается созданием многоканального приема, когда каждый канал имеет полосу в единицы или даже в десятые доли герца, но таких каналов делается сотни тысяч и даже миллионы. Это позволяет охватить все возможные частоты, сдвинутые на неизвестную величину из-за эффекта Доплера. Таким путем ликвидируется не только влияние неопределенности доплеровского сдвига на параметры приема, но и решается вопрос неопределенности в частоте связи.

Рассмотрим проблему выбора волны связи. В начале, как уже говорилось, казалось, что природой указана единственная волна, а именно спектральная линия излучения нейтрального межзвездного водорода  $\lambda = 21$  см. Однако позднее были обнаружены десятки спектральных линий излучения. Например, спектральная линия гидроксила OH  $\lambda = 18$  см, формальдегида — 6 см, воды — 1,35 см и т.д., вплоть до множества линий в миллиметровом диапазоне. Волна 21 см потеряла свое "магическое" значение, однако появилась "философия" приоритета диапазона от 21 до 18 см (1400–1700 МГц), названного "водяным диапазоном".

Таблица 2  
Предлагаемые радиочастоты связи

Наименование	Частота, ГГц	Автор	Дата	Аргументы в пользу выбора
Линия излучения водорода $\nu_H$	1,42	Кокконни, Моррисон	1959	Широкое использование при радионаблюдениях
"Водяное окно" $\nu_H \sim \nu_{OH}$	1,42–1,70	Оливер, Биллингем (проект "Циклоп")	1971	То же
Модификация $\nu_H$	$\pi\nu_H, \sqrt{2}\nu_H, \dots$	Маковецкий	1975	Признак разумности
Дублет $\nu_1 = \nu_H \frac{m}{m_p}$ , $\nu_2 = \nu_H \frac{m_p}{m}$	1,421 и 1,419	Маковецкий	1980	Исключается влияние эффекта Доплера
$\nu = \alpha^6 \frac{c}{2\pi r_e} = \alpha^4 \frac{c}{2\pi r_0}$	2,557	Койпер, Моррис	1979	Частота определяется физическими константами
Максимум реликтового излучения (линия излучения позитрония)	203,4	Кардашев	1979	
Энергетические оптимальные частоты	150 – 300	Троицкий	1981	Минимум энергетических затрат
Галактическое окно частот	1,0–10; 1,4–25	СССР, США	1980	Широкий диапазон

*Примечание.*  $m_p$  – масса протона;  $m$  – масса нейтрона;  $r_e$  – радиус электрона;  $r_0$  – радиус орбиты электрона,  $\alpha = (137)^{-1}$

Опубликована целая серия предложений и обоснований различных частот связи. Эти предложения приведены в табл. 2 с краткой аргументацией. Стало очевидным, что должен быть выработан более обоснованный критерий выбора частот.

Диапазон частот, очевидно, должен определяться условиями распространения волн, шумами Галактики и приемных устройств. Оптимальным диапазоном является интервал волн от 30 до 0,1 см. Для волн длиннее 30 см сильно возрастают шумы Галактики, а на волнах короче 0,1 см – квантовые шумы приемных систем. Таким образом, квантовая природа электромагнитных волн и собственное радиоизлучение межзвездной среды Галактики определяют естественное галактическое окно связи. Для передачи и приема с поверхности Земли возникает некоторое дополнительное ограничение со стороны миллиметровых волн из-за поглощения в атмосфере Земли и ее шумового радиоизлучения.

Как видим, природа представляет довольно широкий диапазон подходящих частот связи. Какой же критерий выбора частоты должен быть доминирующим для всех цивилизаций?

Из сказанного выше о сильных энергетических ограничениях очевидно, что связь должна быть энергетически экономной. Это означает нецеле-

Таблица 3  
Зависимость требуемой мощности передатчика  $P$  от длины волны  $\lambda$  для связи на расстоянии  $R = 10^3$  св. лет при использовании на приеме и передаче антенн различных диаметров  $D$  и при заданных значениях плотности потока энергии сигнала  $S$

$\lambda$ , см	$S$ (Вт/м <sup>2</sup> ) для $D$		$P$ (Вт) для $D$	
	64 м	300 м	64 м	100 м
10	$3 \cdot 10^{-24}$	$3 \cdot 10^{-23}$	$10^7$	$10^5$
1,0	$3 \cdot 10^{-24}$	$3 \cdot 10^{-23}$	$10^5$	$10^3$
0,3	$3 \cdot 10^{-24}$	$3 \cdot 10^{-23}$	$10^4$	$10^2$
0,15	$3 \cdot 10^{-24}$	$3 \cdot 10^{-23}$	$2,5 \cdot 10^3$	25

*Примечание.* Полоса приема  $\Delta f = 1$  Гц, собственные шумы приемника  $T_{ш} = 10$  К.

сообразность использования всенаправленной передачи, требующей, как показывают расчеты, непомерно большой мощности передатчика даже на скромные расстояния (независимо от длины волны).

Энергетические затраты можно существенно уменьшить, используя направленную передачу с помощью достаточно больших параболических антенн. С применением направленных антенн появляется и существенная зависимость сигнала от длины волны при заданном размере антенны и мощности передатчика. Возникает возможность уменьшения мощности. Очевидно, что чем короче волна передачи, тем сильнее при заданном диаметре антенны будет концентрироваться энергия. Формула для плотности потока энергии сигнала будет  $S = P\sigma/R^2\lambda^2$  [Вт/м<sup>2</sup>]. Здесь  $P$  – мощность передатчика,  $R$  – расстояние до корреспондента,  $\sigma$  – эффективная площадь антенны, обычно близкая к геометрической. Из соотношения видно, что чем короче волна и чем больше антенна, тем больше мощность сигнала в месте приема. Таким образом, оптимальной волной связи являются волны миллиметрового диапазона.

Выбор конкретной частоты можно сделать и на основании, например, предложения Н.С. Кардашева [11] – взять среднюю волну реликтового фона или излучения позитрония (см. табл. 2). При использовании волны 0,15 см для создания такого же сигнала, как на волне с  $\lambda = 21$  см, требуется мощность, в  $2 \cdot 10^4$  раза меньшая, или при той же мощности дальность увеличивается в 140 раз. Сигнал можно усилить, увеличивая  $\sigma$ , т.е. размер антенны. Предельное значение  $\sigma$  ограничивается техническими трудностями изготовления точной поверхности антенны при увеличении ее размера. В земных условиях для миллиметровых волн можно считать, что возможный диаметр зеркала  $D \approx \sqrt{\sigma} \leq 70^5 \lambda$ . Это дает в формуле множитель  $\sigma/\lambda^2 = 10^{10}$ , который показывает, во сколько раз увеличивается сигнал по сравнению с всенаправленной передачей.

В табл. 3 приведены расчетные мощности передатчика для приемных устройств современной техники. Видно, что земная цивилизация имеет реальные технические возможности для установления связи на миллиметровых волнах в пределах нашей Галактики. В прошедшие двадцать лет, как видно из табл., приведенной в докладе Дж. Тартер (см. с. 170 наст. сб.), все поиски сигналов осуществлялись главным образом на волне 21 см и более длинных. Это предполагало использование больших мощностей передачи, что,

<sup>1</sup>Заметим, что для всенаправленной антенны  $\sigma/\lambda^2 = 1$ .

ЗАМЕЧАНИЯ О ЧАСТОТЕ ВСТРЕЧАЕМОСТИ  
ВНЕЗЕМНЫХ ЦИВИЛИЗАЦИЙ\*

как мы видим, нереалистично и в значительной мере может объяснять отрицательные результаты поиска сигналов. Нужно рассчитывать на очень слабые сигналы и значительно увеличивать размеры приемных антенн.

Обоснования выбора волн связи еще не достаточно для решения проблемы связи. Необходимо установить критерии выбора направлений для поиска сигналов и времени начала поисков. Если этих критериев не найти, значит нужно осматривать все небо и делать это все время. В результате мы получим тот "космический стог сена", о котором сказано в докладе Дж. Тартер. Можно сказать, что Коккони и Моррисон открыли канал связи, указав на волну 21 см, теперь остается ликвидировать две неизвестные величины в системе связи: направление поиска и время начала поиска.

Эту проблему блестяще решил П.В. Маковецкий [12]. Он предложил начало приема и передачи привязывать к замечательным явлениям в нашей Галактике, например вспышкам новых и сверхновых. Вспышка, видимая обычно во всей Галактике, должна быть использована как сигнал маяка для начала поисков связи. Если все цивилизации придут к этому принципу, то "встреча сигналов" очень вероятна.

Согласно П.В. Маковецкому, поиск должен осуществляться по направлению от вспыхнувшей звезды или от группы ближайших к нам звезд. В последнем случае можно весьма точно указать (с точностью до нескольких дней), когда нужно вести прием, чтобы обнаружить сигнал, посланный от какой-либо ближайшей звезды, если там есть цивилизация, которая приняла принцип синхронизации связи по вспышкам звезд.

Предложение использовать вспышечные явления, как очевидно, определяет направление и начало приема-передачи. Другое предложение П.В. Маковецкого состоит в использовании замечательных объектов Галактики в качестве направлений для приема и передачи. Очевидно, что если все цивилизации придут к этому, то вероятность пересечения направлений посылок сигналов и приема, т.е. установления связи, сильно повышается.

Подводя итоги, можно сделать вывод, что почти четвертьвековое теоретическое и экспериментальное изучение проблемы существования и поиска жизни во Вселенной сделало огромный шаг вперед и подготовило фундамент дальнейшего продвижения исследований на качественно новом теоретическом и экспериментальном уровне.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Шкловский И.С. Вселенная, жизнь, разум. М.: Наука, 1980.
2. Внеземные цивилизации: Тр. Бюракан. симпоз., 1964 г. Ереван: Изд-во АН АрмССР, 1965.
3. Проблема СЕТИ: (Связь с внеземными цивилизациями). М.: Мир, 1975.
4. Проблема поиска внеземных цивилизаций. М.: Наука, 1981.
5. Маковецкий П.В., Петрович Н.Т., Троицкий В.С. — *Вопр. философии*, 1979, № 4, с. 47—55.
6. Sullivan W.T., Rowen S., Wetherill C. — *Science*, 1978, vol. 199, N 4327, p. 377.
7. Кардашев Н.С. — *Астрон. журн.*, 1964, т. 41, № 2, с. 282—285.
8. Троицкий В.С. — *Земля и Вселенная*, 1981, № 1, с. 63—65.
9. Троицкий В.С. — *Астрон. журн.*, 1981, т. 58, № 5, с. 1121—1130.
10. Астрономия, методология, мировоззрение. М.: Наука, 1979.
11. Кардашев Н.С. — *Вопр. философии*, 1977, № 12, с. 43—54.
12. Маковецкий П.В. — *Астрон. журн.*, 1977, т. 54, № 2, с. 449—451.

Если бы можно было поставить эпитафию к научному заседанию или симпозиуму, я бы поставил к нашему симпозиуму в качестве эпитафии древнюю китайскую поговорку: если ты очень ждешь своего друга, не принимай стук своего сердца за топот копыт его коня. Мне кажется, что это несколько витиеватое восточное изречение отражает суть дела. Говоря конкретно, мне представляется, что оценки В.С. Троицкого слишком оптимистичны, и в действительности положение с проблемой внеземных цивилизаций (ВЦ), как мне кажется, не так определено, как это казалось даже, может быть, несколько лет раньше. Прежде всего, в течение последних лет наблюдается тенденция к подмене проблемы ВЦ проблемой связи с ВЦ, причем делается ударение на радиотехнические средства такой связи. Мне кажется, что это принципиально неправильно просто потому, что, занимаясь вопросом связи, надо иметь хоть какую-то идею насчет адресата, который может посылать нам или которому мы можем посылать сообщения. При этом мы должны исходить из той простой идеи, что прежде всего шкала технологического развития цивилизаций чрезвычайно коротка, различия в возрасте между разными цивилизациями по необходимости очень велики, они исчисляются, как минимум, многими тысячелетиями и десятками тысяч лет. Поэтому неизбежен футурологический аспект при подходе к этой проблеме, нужно иметь хотя бы какие-то идеи насчет развития цивилизаций со временем. Без этого, как мне кажется, заниматься проблемой связи с ВЦ было бы по меньшей мере странно. Так что желаем мы этого или не желаем — проблема в существенной части является гуманитарно-социологической, она включает в себя и философские элементы, и элементы логики, и целый ряд довольно неожиданных вопросов.

Если возвратиться к существу проблемы, то здесь основой является известная формула Дрейка, которая представляет собой некое произведение сомножителей, задающих вероятность планетных систем, вероятность возникновения жизни и т.д. Что можно сказать по поводу отдельных компонентов этой формулы на сегодняшний день?

Прежде всего вопрос о частоте планетных систем во Вселенной, о вероятности  $P_1$ . Надо сказать, что к настоящему времени мы на этот вопрос в плане позитивно-экспериментальной науки ответа дать не можем. Как было, скажем, лет 34—40 тому назад, тогда А. Дейч в Пулковской обсерватории исследовал невидимые спутники вокруг 61 Лебеда и других близких к нам звездных систем и доказал существование там невидимых спутников массой порядка одной сотой солнечной массы, так и сейчас положение фактически не сдвинулось с места. Можно утверждать, что звездобразные объекты с массой порядка  $10^{-2}$  солнечной довольно распространены, если ближайшие к нам звезды имеют такие невидимые спутники. Но вся проблема состоит в том, имеются ли там, в этом спектре невидимых спутников, планеты со свойствами более или менее близкими к Земле, а в этом случае мы приходим к существенно иному диапазону

\* В сборнике публикуется сокращенная стенограмма выступления И.С. Шкловского. (Примеч. сост.)

масс. Внушавшая нам оптимизм во время Бюраканского симпозиума звезда Барнарда надежды не оправдала. Результаты исследований этой звезды оказались спорными, и мы в этом пункте продвижений не имеем. Значит, проблемой № 1 в научном плане является обнаружение планетных систем среди ближайших к нам звезд. Эта проблема как была открытой, так и остается открытой, здесь, повторяю, прогресса нет.

Может быть, это объясняется тем, что на фоне грандиозных успехов астрономии за послевоенные три десятилетия астрометрия, т.е. старинная область астрономии, позиционная астрономия, в сущности говоря, особых успехов не имеет, и угловые измерения порядка сотых секунды как были, так и остаются пределом для такого рода исследований. А между тем в значительной степени в этом кроется трудность решения этого вопроса, потому что в принципе вполне может быть такая ситуация, когда спектр масс спутников обрывается где-то около массы Юпитера и дальше объектов типа Земли и Марса среди планет просто нет.

По-видимому, успех в этом направлении принесет новый шаг, новая ступень в развитии астрометрии, что связано с внедрением новой техники, например спутниковых методов, и вообще неожиданного подхода к старой проблеме. Это очень важно, потому что Юпитер, Сатурн — это все-таки "полузвезды". Тут могут быть самые неожиданные подходы; ну, например, успех может прийти со стороны изучения пульсаров. В принципе, изучение вариаций периодов пульсаров при той точности, которая в настоящее время достигнута, позволяет обнаружить существование планеты, обращающейся вокруг пульсара, т.е. нейтронной звезды, имеющей массу порядка массы Земли. И даже промелькнуло такое сообщение в отношении пульсара в Крабовидной туманности, но оно не подтвердилось. Надо заметить, что во время катастрофы, связанной со взрывом сверхновой звезды, как показывают расчеты, имеется большая вероятность того, что тело размером с земной шар и с такой же массой может уцелеть. Оно будет сильно опалено, от него останется "огарок", но все-таки оно останется, и тем самым обнаружение такого объекта будет доказательством, что имеются планеты вокруг других звезд. Я просто указываю на один из возможных подходов к решению этой проблемы. Пока, однако, этот вопрос темный. Очень может быть, что явление планет распространено, а может быть и нет. Может быть, вообще нет планет земной группы. Если предмет наших разговоров являет собой Наука, то мы должны иметь точные и неопровержимые научные факты. Таких фактов в отношении возможности существования планетных систем, сходных с солнечной, у нас на сегодняшний день нет, и по этому важнейшему вопросу мы практически топчемся на месте в течение последних десятилетий. Это первое, что я хотел сказать<sup>1</sup>.

Теперь очень важный вопрос насчет вероятности зарождения жизни  $P_2$ . Здесь очень много сломано копий и пролито чернил. Утверждение о том, что за последние 2—3 десятилетия не достигнут существенный прогресс в понимании проблемы происхождения жизни, является полемическим преувеличением. Конечно, здесь мы имеем несомненный успех, и в связи с развитием молекулярной биологии, и в связи с проблемами генетического кода. Но при этом все без исключения исследователи, занимающиеся этой областью, допускают одну очень серьезную, на мой взгляд, логическую

<sup>1</sup> В самое последнее время наблюдения в далекой инфракрасной области спектра на спутнике "IRAS" привели к открытию пылевых дисков вокруг некоторых близких звезд, например Веги. Означает ли это наличие у этих звезд планетных систем, покажут будущие исследования.

ошибку. Допустим, что развитие будущих исследований в области молекулярной биологии и биофизики приведет нас к пониманию, как это могла возникнуть жизнь, жизнь "в пробирке". Все эти исследования в области молекулярной биологии направлены на выяснение вопросов возможности создания жизни "в пробирке", и абсолютно фундаментально неизменно здесь остается вопрос, реализовывались ли эти "пробирочные" условия в прошлой истории Земли или реализуются на какой-нибудь другой планете где-нибудь в Галактике. Это совершенно разные вещи.

Очень может быть, что для реализации этих условий нужен какой-то совершенно ничтожный ингредиент в первоначальных физических условиях, сопутствующих образованию планетной системы; он может быть, а может и не быть. Это совершенно неизвестно, поэтому вопрос о том, как возникла жизнь, в настоящее время не просто не имеет ответа, а не имеет ответа "в квадрате". Эта проблема не решена в плане чисто биофизическом, т.е. в плане "жизни в пробирке", и она не решена в более широком, в более серьезном плане, где гораздо более крупные трудности. Речь идет о естественных условиях на первобытной Земле. Этот вопрос может быть решен только астрономическими методами, т.е. тогда, когда начнутся реально исследоваться ближайшие планетные системы, если только они есть, повторяю. Ну, например, здесь уже говорилось о том, что прорабатываются проекты зондов в направлении, скажем, звезды Барнарда или ближайших звезд. Но всего в округе радиусом 10 пк имеется около 250 звезд, преимущественно красных карликов, и, конечно, прежде всего надо исследовать их. Следует при этом иметь в виду, что жизнь, возникшая на той или иной планете, представляет собой уже космический фактор. Она приводит, например, к наличию свободного кислорода в атмосфере планеты. Могут быть и другие признаки. Вот только тогда, когда будут обнаружены несомненные признаки жизнедеятельности организмов, тогда можно говорить о частоте возникновения жизни на планетах и т.д. Пока накопление наших общих астрономических знаний только усугубило понимание степени нашего невежества в этой области, так что этот вопрос остается совершенно открытым. Можно только говорить о гипотезах, причем равновероятны гипотезы о нулевом и более или менее значительном значении вероятности  $P_2$ .

Мне кажется, что более благоприятно положение со следующей, очень важной компонентой проблемы, а именно с оценкой вероятности  $P_3$  того, что уже каким-то образом возникшая жизнь на каком-то этапе станет разумной. Хотя, может быть, такое утверждение является выражением моего дилетантизма. В самом деле, для того чтобы развилась жизнь в процессе дарвиновского отбора, на фоне мутаций, природа перепробовала все возможности и "изобретения". Ведь на Земле было всего около миллиарда видов, сменявших один другой. Чтобы перепробовать все комбинации, нужен примерно миллиард лет.

Делая небольшое отступление, я хочу сказать, что мне всегда казались смешными разговоры, что де, так как наше Солнце имеет возраст 4,6 млрд лет, то у звезд первого поколения, возраст которых около 20 млрд лет, могут быть цивилизации более древние и более "умные", чем наша. Это, конечно, совершенно несерьезно. Потому что, если мы имеем миллиарды лет эволюции от первичных сине-зеленых водорослей до человека, то отдельные ничтожные флуктуации эволюционного процесса могут совершенно спокойно дать и 10 млрд лет и 2 млрд лет. В этом плане Солнце, возраст которого такого же порядка (всего лишь в 3—4 раза меньше), что и возраст Вселенной, представляет собой достаточно старую звезду. В Галактике может быть звезда более молодая, чем Солнце, и, возможно, там эволю-

ционный процесс по каким-то причинам шел быстрее, чем у нас; это можно вполне представить. Может быть и обратная ситуация. Я хочу сказать, что в процессе смены сотен миллиардов видов, когда эволюция "проигрывает" все возможные варианты, чтобы обеспечить выживание вида, такой вариант, как разум, конечно, должен быть использован. Это, если угодно, необходимость.

Другое дело, что это очень трудно, этого можно достигнуть, а можно и не достигнуть. Но во всяком случае проявление разумной жизни в общем древе развития эволюции представляется вполне закономерным просто как один из вариантов, который при этом проигрывается природой. И может быть, как раз при оценке вероятности  $P_3$  особых проблем нам не встретится — вывод довольно неожиданный...

Но я хотел бы остановиться на совершенно другом обстоятельстве, а именно: поражает очень короткая шкала технологического развития человеческого общества. Итак, возник вид разумных существ, который сперва медленно, а потом с невероятным взрывным характером стал развиваться. Это один из сотен миллионов, а может быть, миллиардов видов, которые жили на нашей планете.

Если посмотреть на дерево эволюции, то оно представляет грандиозное кладбище видов, по крайней мере 99% видов, которые получались в результате комбинаторики, т.е. по законам случая — тупиковые направления, и вопрос стоит так: находится ли вид *homo sapiens* на генеральной линии развития материи во Вселенной? Ответить на этот вопрос мы пока тоже не можем. Не исключено, что развитие мыслящей материи пойдет в каком-то ином направлении, а может быть уже и идет в других частях Вселенной.

Я хочу сказать об этом потому, что имеется едва ли не важнейший факт, с которым столкнулись исследователи множества миров: факт молчания космоса. Вся проблема в том, что если бы были очень умные "небожители", так они как-нибудь возвестили бы о своем существовании! Этот вопрос серьезный, гораздо более серьезный, чем считают многие здесь присутствующие. Повестка дня нашего симпозиума не представляет реального состояния этой проблемы. Специальный симпозиум будет, наверное, посвящен как раз этому вопросу.

Как понять, что они молчат, ведь при такой короткой шкале технологического развития они должны очень даже проявлять себя? Тут возможны два варианта: они употребляют стратегию "космической мимикрии" — позвольте применить такой термин, т.е. нарочно имитируют свою деятельность как естественные сигналы. В такой ситуации всякие поиски по линии SETI бессмысленны. Если интеллект суперцивилизации направлен на то, чтобы ее не видеть, какие мы можем иметь шансы их обнаружить? Либо же, и это надо иметь в виду, что у них есть основания, чтобы не очень-то себя показывать, тогда стоит подумать и об этом.

А скорее всего, просто их не существует, и ничего тут плохого для человечества, право же, нет. Еще Пушкин говорил о "равнодушной природе".

В заключение я хочу показать некоторые предварительные расчеты, конечно, очень грубые. Они основаны вот на чем: вспомним, что от изобретения радио — какого-то примитивного когерера Попова — до современных средств массового уничтожения термоядерного оружия, этих сотен мегатонн и т.д., прошло менее ста лет. Вот тут можно оценить  $\tau$ , характерное время, которое я беру равным сотне лет. Придя к изобретению радио, уже через сто лет человечество, которое уже к тому времени вышло из состояния равновесия с окружающей средой, вполне стало способным начать глобальное разрушение биосферы. Так вот, если

принять, что этот промежуток времени  $\tau$  порядка ста лет, и что у всех подходящих звезд имеются планетные системы, на которых возникла жизнь, через миллиарды лет ставшая разумной, то получается, что расстояние до ближайшей из таких цивилизаций, находящихся в промежутке между изобретением радио и термоядерной катастрофой, где-то порядка полутора парсека...

Особенность этой оценки — это то, что она абсолютно не хуже других, это уж я могу точно сказать. Вот на такой оптимистической ноте позвольте мне закончить.

УДК 523.164.42

*Н.С. Кардашев*

## О НЕИЗБЕЖНОСТИ И ВОЗМОЖНЫХ ФОРМАХ СВЕРХЦИВИЛИЗАЦИЙ

### ЧТО МЫ ИЩЕМ?

Пожалуй, самым важным вопросом в проблеме поиска внеземных цивилизаций (ВЦ) на современном этапе является логически непротиворечивая договоренность о том, что, собственно, мы ищем? К сожалению, такой договоренности нет. Большинство экспериментов по поиску цивилизаций по-прежнему ставится с позиций "земного шовинизма". Несмотря на критику (вероятность обнаружить цивилизацию, находящуюся на нашем уровне развития, даже среди ближайших звезд близка к нулю), поиски цивилизаций земного типа продолжают. Такое положение означает, что продвижения в решении проблемы нет и не ожидается до тех пор, пока исходная концепция и соответственно методика не будут изменены. Современную ситуацию можно обрисовать следующим образом. Программа перспективного поиска фактически не начата. Придавать какое-либо значение проведенным попыткам поиска сигналов нельзя. ВЦ не найдены потому, что их, по сути дела, не искали.

Очевидная причина такого положения связана с исключительными трудностями прогноза развития цивилизаций на астрономические интервалы времени. Любые такие прогнозы кажутся малореальной фантазией. Зато для цивилизаций с современным земным техническим оснащением можно делать любые конкретные расчеты.

И все-таки необходимо перейти к некоторым фантастическим моделям, отталкиваясь от научно-технического уровня сегодняшнего дня и помня, что известные нам законы природы уже надежно проверены астрономическими наблюдениями на огромных масштабах пространства и времени. По-видимому, целый ряд фундаментальных законов природы еще предстоит открыть, но это не приведет к отмене тех законов, которые известны. Рассмотрим два основных предположения, необходимых, по нашему мнению, для построения моделей сверхцивилизаций.

1. Масштабы деятельности цивилизаций ограничиваются только естественнонаучными причинами. Смысл этого утверждения состоит в том, что любые процессы, наблюдающиеся в неживой природе (от явлений в микромире до явлений в астрономических масштабах, вплоть до масштабов Вселенной в целом), могут по истечении некоторого времени быть использованы цивилизациями, воспроизведены и даже в какой-то степени изменены, но, естественно, в рамках законов природы.

2. Цивилизации не имеют каких-то внутренних, им присущих ограничений на масштабы деятельности. В частности, это означает, что предположения о возможности самоуничтожения цивилизации или о некотором предельном уровне развития не являются фатальными, т.е., с одной стороны, социальные конфликты в принципе могут быть преодолены, а с другой — всегда есть стоящие перед цивилизацией задачи, требующие увеличения масштаба деятельности. Именно такая постановка вопроса кажется наиболее соответствующей нашим современным представлениям.

Для доказательства этих предположений можно использовать нечто аналогичное методу математической индукции. Если есть некоторый вид деятельности цивилизации, описываемый параметрами  $M$  — масса рабочего тела,  $P$  — мощность потребляемой энергии,  $I$  — объем информации, описывающий программу, и др., то при любой конкретизации можно указать, как организовать деятельность с параметрами, например,  $2M$ ,  $2P$ ,  $2I$  и т.д. Суть дела в том, что физические параметры наблюдаемых во Вселенной объектов имеют огромный интервал возможных значений.

Главным следствием принятых предположений для проблемы поиска цивилизаций является утверждение, что среди наблюдаемых астрономических объектов должны существовать такие, которые связаны с разумной деятельностью. Наиболее вероятно, что эти объекты обладают очень большой массой, развитой энергетикой, значительным объемом информации, могут существовать в течение космологических интервалов времени, т.е. миллиарды лет, и достаточно компактны, чтобы был возможен быстрый внутренний обмен информацией.

#### ТВЕРДОТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ АСТРОНОМИЧЕСКИХ РАЗМЕРОВ

По-видимому, одной из основных форм вещества для существования цивилизаций является твердое состояние — оптимальное для высокой степени организации. Однако это состояние вещества еще очень плохо исследовано во Вселенной. Чаще всего, изучая физические процессы, астрономы имеют дело с плазмой. Можно думать, что в принципе все виды состояний вещества могут быть использованы с помощью активного вмешательства разума.

Однако прямым доказательством искусственности объекта было бы обнаружение огромных твердотельных конструкций. Можно рассматривать множество различных проектов [1–9]. Например, Ф. Дайсон путем расчетов показал [3] возможность изготовления астроинженерных конструкций (сферы Дайсона) размером в несколько астрономических единиц, используя в качестве материала вещество планет. Обсуждался вопрос об искусственном взрыве звезды. Можно представить возможные способы изменения орбиты Солнца и других звезд в Галактике, рассмотреть их столкновения с целью добычи массы и энергии [3]. Я думаю, что астрономы смогут предложить многие пути реализации этого, поскольку подобные же процессы идут и естественным путем. Исключительно богатые возможности для астроинженерии открываются в гигантских молекулярных облаках (массы в миллионы солнечных масс), еще большие — связаны с перестройкой целых галактик.

Рассмотрим в качестве примера одну из возможных очень больших конструкций. Предположим, что цивилизация располагает мощностью  $L$  и массой  $M$  твердого вещества. Жесткая конструкция астрономических размеров, наполненная различными устройствами, не разрушающаяся под действием силы тяжести, может быть сделана в виде диска, вращающегося с постоянной угловой скоростью  $\Omega$ , соответствующей движению по круго-

вым орбитам под действием собственной силы тяжести. Если принять, что плотность диска  $\rho$  — постоянна, то для сохранения угловой скорости надо, чтобы толщина диска изменялась по формуле  $h = h_0 \sqrt{1 - r^2/R^2}$ ,  $h_0$  — толщина диска в центре;  $r$  — текущий радиус;  $R$  — радиус внешнего края диска. Тогда

$$M = \frac{2\pi}{3} R^2 h_0 \rho. \quad (1)$$

Примем, что поверхность диска перерабатывает мощность  $L$  в тепловое излучение с температурой  $T$ . Тогда

$$L = 2\pi R^2 \sigma T^4, \quad (2)$$

где  $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-5}$  эрг/см<sup>2</sup> · К<sup>4</sup> · с — постоянная Стефана–Больцмана.

Из (1) и (2) имеем  $R = (L/2\pi\sigma T^4)^{1/2}$ ,  $h_0 = 3M\sigma T^4/\rho L$ . Для  $L = 10^{12} L_{\odot}$ ,  $M = 10^{12} M_{\odot}$ ,  $T = 300$  К,  $\rho = 8$  г/см<sup>3</sup>, имеем  $R = 12$  пк,  $h_0 = 860$  м, период обращения диска

$$P = 4R^{3/2} \left( \frac{3}{\pi} GM \right)^{-1/2} \approx 6 \cdot 10^3 \text{ с}^{-1}.$$

Поток теплового излучения диска будет максимальным в диапазоне около  $\lambda = 20$  мкм и для расстояния  $D \approx 10^3$  Мпк составит  $F_{\nu} = 2\pi kTR^2/\lambda^2 D^2 = 1$  Ян. Подобные примеры показывают, с какими ситуациями мы можем встретиться в проблеме поиска. Если заняться детальным изучением подобных конструкций, то можно указать способы их сооружения, поскольку подобные по массе и мощности образования возникают и естественным путем.

#### АСТРОНОМИЧЕСКИЕ ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ПОИСКА

Какие же астрономические объекты являются возможными кандидатами для областей размещения сверхцивилизаций? По-видимому, это районы ядер галактик и квазары. Возможно также, что исследования в инфракрасном диапазоне откроют и какие-то новые объекты очень большой мощности и массы. С эволюционной точки зрения первые сверхцивилизации и первые квазары могли появиться почти одновременно — в первый миллиард лет расширения Вселенной. Возможно, что среди ядер галактик и квазаров удастся выделить какой-то вид объектов, связанных с цивилизациями. Этот вид прежде всего должен характеризоваться мощным инфракрасным излучением астроинженерных конструкций со спектром, близким к планковскому. Температура этого излучения может быть от 3 до 1000 К, соответствуя различным моделям технологической деятельности с использованием твердотельных конструкций. Поэтому искать такое излучение от подобных конструкций можно в диапазоне длин волн от нескольких микрометров до нескольких миллиметров. В ряде случаев аномально сильное инфракрасное излучение внегалактических объектов уже обнаружено. Однако, по-видимому, это излучение обусловлено межзвездными пылинками. Основное отличие излучения крупных конструкций от излучения пылинок обусловлено тем, что размер конструкций существенно больше длины волны, а размер пылинок — меньше. Поэтому длинноволновая часть спектра излучения пылинок имеет более крутую зависимость от длины волны, чем излучение тела больших размеров ( $\sim \lambda^{-2}$ ). Большие конструкции также могут быть выявлены и по экранирующему действию. Радиointерферомет-

рические наблюдения обеспечивают самое высокое угловое разрешение при астрономических исследованиях и, возможно, позволят выявить такие конструкции благодаря необычности их формы.

Важным с точки зрения стратегии поиска цивилизаций является также вопрос о специальных радиопередачах. Для изотропно излучающего передатчика оптимальной длиной волны является 21 см, для направленного излучения — 1,5 мм [8]. При этом предполагается, что сама сверхцивилизация и объекты, с ней связанные, не создают помех, ограничивающих возможность передачи. В предположении очень высокого уровня развития сверхцивилизаций можно ожидать остро направленное в сторону Солнечной системы или нашей Галактики излучение, несущее информацию. Наша цивилизация может быть давно обнаружена с помощью телескопов, проекты которых можно также обсуждать, как и проекты очень больших конструкций. Так, если в настоящее время с орбиты высотой 300 км с помощью телескопа диаметром 1 м получаются фотографии земных ландшафтов с разрешением несколько дециметров, то с расстояния 10 кпк (например, из района центра Галактики) те же результаты могут быть получены при диаметре зеркал 0,1 св. года. Разумеется, вопрос о таких зеркалах еще более неопределенный, чем вопрос о возможности существования сверхцивилизаций. Однако, предполагая высокий уровень развития науки и техники, наверное можно ожидать и развития одной из отраслей науки — космической этнографии. Первичное обнаружение планетных систем, примитивной жизни и цивилизаций возможно дистанционными методами — с помощью больших телескопов. Однако для дальнейших детальных исследований и контактов потребуется посылка специальных зондов. Поиск таких зондов в Солнечной системе также является одним из направлений SETI. Здесь к имеющимся проблемам добавляется еще один круг вопросов: этические и правовые взаимоотношения до и после установления контакта. Например, посылка зонда с активной программой действия может считаться неприемлемой. Это дает одно из возможных объяснений, почему Земля не была колонизирована [10].

#### ВОЗМОЖНЫЕ СЦЕНАРИИ РАЗВИТИЯ ЦИВИЛИЗАЦИЙ

Можно предположить, что основную роль в развитии цивилизаций играют два фактора: собственное развитие и развитие в результате контакта с другими цивилизациями.

Могут быть предложены разные модели развития одностороннего и двухстороннего контакта. Модели, соответствующие наиболее быстрому развитию науки, техники и культуры для обеих сторон, представляются нам наиболее вероятными. Если принять эту точку зрения, то процесс объединения цивилизаций и сосредоточения их в небольшом числе компактных районов во Вселенной является одним из основных факторов их эволюции.

Шесть различных сценариев развития цивилизаций, заслуживающих более детального обсуждения, представлены в виде таблицы. В одном из столбцов приводится субъективная оценка автора вероятности реализации этих сценариев.

В заключение необходимо привести также субъективную оценку степени достоверности сказанного. Кажется весьма вероятным обнаружить космические сверхцивилизации около наиболее мощных и компактных астрономических объектов. Методы поиска было бы целесообразно пересмотреть. Вероятно, наибольшее внимание следовало бы уделить обнаружению больших твердотельных конструкций. С этой целью следует выделить

#### Возможные сценарии развития SETI

№	Сценарий развития	Субъективная вероятность реализации, %	Объекты исследования и метод поиска	Сценарий нашего развития после контакта
I	Сильное объединение цивилизаций в масштабах 1—10 млрд св. лет с концентрацией в единый компактный объект	60	Самые мощные квазары и галактики. Поиск новых внегалактических объектов с мощностью излучения $> 10^{45}$ эрг/с в диапазоне 10 мкм—1 см, а также в других диапазонах. Поиск астроинженерных конструкций. Поиск направленных информационных сигналов на длине волны 1,5 мм и ненаправленных — на длине волны 21 см*	Резкий подъем темпов развития во всех областях, крупные социальные, экономические и культурные преобразования, подготовка, а затем перелет к более развитой цивилизации для объединения. Организация этнографического заповедника на Земле
II	Объединение в масштабах крупных скоплений галактик	20	Исследование ядра скопления Virgo (галактика M 87) и некоторых других крупнейших скоплений. Методы те же, что и для № 1*	То же
III	Объединение в масштабах крупных галактик	10	Исследование ядра нашей Галактики, ядер ближайших крупных галактик (M 31, M 33 и т.д.). Методы те же, что и для № 1*	»
IV	Полное заселение пространства	0	Представители других цивилизаций должны быть на Земле, чего не наблюдается	»
V	Самоуничтожение планетных цивилизаций до вступления в контакт	10	На планетах около ближайших звезд могут быть обнаружены остатки цивилизаций	Развитие отсутствует по определению
VI	Мы первые и пока единственные	0	Необходимо продолжение исследований в области экзобиологии. Существующие данные, по-видимому, исключают этот сценарий: первые микроорганизмы образовались около 3,5 млрд лет назад, т.е. сразу же после прекращения массового выпадения метеоритов на поверхность Земли	Контакты возможны в далеком будущем. В перспективе возможно развитие по всем пяти предыдущим сценариям

\*Целесообразен также поиск ретрансляторов в Солнечной системе или около центра Галактики.



класс конкретных объектов, заслуживающих более детального изучения. Для этих объектов необходимо вновь рассмотреть задачу об оптимальном диапазоне передачи информации с учетом их непрерывного спектра естественного происхождения, направленности или изотропности излучателя и других специфических особенностей.

Предлагаемые сценарии, конечно, надо рассматривать как вспомогательный инструмент, помогающий в решении задачи поиска. Каждый из сценариев имеет право на существование, но предполагается, что его справедливость может быть проверена определенными экспериментами.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Дайсон Ф. Дж. Поиски искусственных звездных источников инфракрасного излучения. — В кн.: Межзвездная связь/ Под ред. Камерона А. Дж. У. М.: Мир, 1965, с. 121—124. *Interstellar Communication*, Cameron A.G.W., ed. W.A. Benjamin, N.Y., 1963.
2. Дайсон Ф. Дж. Гравитационные машины. — В кн.: Межзвездная связь/ Под ред. Камерона А. Дж. У. М.: Мир, 1965, с. 125—131.
3. Dyson F.J. The search for extraterrestrial technology. — *Perspect. Mod. Phys.*, Mars-hak R.E., ed. Wiley, N.Y., 1966, N 4, p. 641—655.
4. Dyson F.J. et al. Astroengineering activity: The possibility of ETI in present astrophysical phenomena. — *Communication with Extraterrestrial Intelligence* (Sagan C. ed.), MIT Press, Cambridge, Mass., 1973, p. 188—229.
5. Sagan C., Walver R.G. The infrared detectability of Dyson civilizations. — *Astrophys. J.*, 1966, vol. 144, N 3, p. 1216—1218.
6. Кардашев Н.С. Передача информации внеземными цивилизациями. — *Астрон. журн.*, 1964, т. 41, № 2, с. 282.
7. Kardashev N.S. — *Acta Astronaut.*, 1979, vol. 6, p. 33—46.
8. Kardashev N.S. Optimal wave length region for communication with extraterrestrial intelligence:  $\lambda = 1,5$  mm. — *Nature*, 1979, vol. 278, p. 28—30.
9. O'Neill G. Space colonization and SETI. — *Cosmic Search*, 1979, vol. 1, p. 16.
10. Ball J.A. The Zoo hypothesis. — *Icarus*, 1973, vol. 19, N 3, p. 347—349.

УДК 008.523.07

К.К. Ребане

### СИГНАЛИЗАЦИЯ МЕЖДУ ЦИВИЛИЗАЦИЯМИ И ОХРАНА СРЕДЫ ОБИТАНИЯ

1. Расчеты В.С. Троицкого [1] убедительно показывают, что посылка с помощью радиотелескопов изотропных сигналов к другим мирам на расстоянии 1000 св.лет и более практически не под силу даже высокоразвитой цивилизации: потребуются не только огромные количества энергии и материалов на строительство, но и нереально долгое время, необходимое на транспортировку материала для телескопа, расположенного на безопасном удалении от резиденции цивилизации.

Дело в том, что поместить телескоп слишком близко нельзя из-за опасности перегрева среды обитания в ходе генерации мощного сигнала. При рассмотренных Троицким параметрах время транспортировки растянется на треть миллиона лет. Фактически Троицкий показал на конкретной модели, каким образом энергетические и экологические соображения (температура в среде обитания должна оставаться в допустимых пределах) приводят к вполне определенным ограничениям, которые становятся непреодолимо жесткими, когда речь идет о посылке всенаправленного сигнала на расстояния, превышающие 100—1000 св.лет.

Основные законы физики — закон сохранения энергии (первый закон термодинамики) и закон возрастания энтропии (второй закон термодинамики) служат надежной основой для получения общего заключения о том, что посылка мощного сигнала всегда неизбежно означает мощную дополнительную нагрузку на среду обитания цивилизации [2—4].

2. Рассмотрим цивилизацию как сильно неравновесную термодинамическую систему, которая благодаря протекающим через нее потокам энергии и энтропии держится вдали от состояния термодинамического равновесия ("тепловой смерти"), сохраняет и развивает свою высокоорганизованную структуру.

Пусть  $E_1$  и  $E_2$  обозначают входящую и выходящую энергию, а  $S_1$  и  $S_2$  — энтропию. Из закона сохранения энергии мы знаем, что  $E_1 = E_2$ , а из закона возрастания энтропии, что  $S_2 \geq S_1$ . Для поддержания жизни, тем более жизни и цивилизации, необходимо, чтобы возрастание энтропии в сфере обитания было весьма значительным, т.е.  $S_2 \gg S_1$ . Как известно, все необходимое для жизни и цивилизации доставляется за счет и ценой возрастания энтропии в окружающей среде.

В среде обитания растет энтропия вещества и излучения, при этом тем более бурно, чем более активна цивилизация. Возрастающей энтропии необходимо решительное противодействие — иначе качество вещества и энергии в среде обитания даже в условиях обильного поступления в нее высококачественной энергии будет неуклонно падать. Возрастание энтропии сопровождается нарастанием разнообразных нежелательных изменений, а в конечном счете среда обязательно все более и более нагревается и становится непригодной для жизни. Поэтому цивилизация должна располагать не только источниками энергии высокого качества (нефть и другие ископаемые топлива, ядерная и солнечная энергия и т.п.), но и эффективными путями отвода отработанной энергии. В среднем столько же энергии, сколько было произведено в среде обитания или поступило в нее извне, должно быть и выведено ( $E_2 = E_1$ ).

Итак, высокоразвитая цивилизация нуждается в производстве, передаче и преобразовании огромных количеств энергии. Гигантские количества энтропии генерируются с неизбежностью, что и является огромной нагрузкой на среду обитания. Жить под этой нагрузкой можно лишь при условии, что налажены и содержатся в идеальном порядке устойчивые каналы отвода энтропии в мировое пространство. Это общее заключение основано на фундаментальных законах физики, справедливость которых применительно к высокоразвитым цивилизациям едва ли разумно подвергать сомнению.

Для цивилизации, живущей подобно нам в значительном гравитационном поле, единственным процессом отвода энтропии является длинноволновое неупорядоченное электромагнитное излучение, уходящее в мировое пространство<sup>1</sup>.

У нас на Земле этот важнейший процесс протекает пока еще самопроизвольно и точно таким же образом, как до появления человека — в виде спонтанного излучения с поверхности и из атмосферы нашей планеты. Вклад деятельности человека в радиационный баланс Земли составляет в наши дни лишь малые доли процента. Если же мы хотим использовать

<sup>1</sup> В принципе возможно использовать и нейтрино или другие частицы, имеющие нулевую или весьма малую массу покоя, но пока трудно говорить о создании мощных потоков этих частиц и управлении ими. У цивилизации в слабом гравитационном поле возможности более богаты — она может с малыми потерями высококачественной энергии выкидывать в мировое пространство и некачественное вещество.

в сотни и тысячи раз больше энергии, чем сейчас, то приходится одновременно с привлечением новых источников энергии заботиться о более интенсивном отводе энтропии, в конечном счете — усилить уход длинноволнового электромагнитного излучения. Возможность форсирования уходящего от Земли потока радиации имеются. Из общих соображений термодинамики следует, что такое формирование в принципе может быть осуществлено с относительно весьма малыми дополнительными затратами высококачественной энергии, так как речь идет об устройстве, действующем как тепловой насос, перекачивающий тепло в естественном направлении потока — от более высоких температур (для Земли около 300 К) к более низким (реликтовое излучение во Вселенной 3 К). Можно, например, создать поля теплового излучения, испускающие как черное тело в актуальной области частот, т.е. на частотах, возбуждаемых при данной температуре среды, или организовать вынужденное испускание.

Итак, вполне возможно быть энергетически богатой цивилизацией. Первое необходимое условие этого — иметь источники высококачественной энергии, второе — иметь каналы отвода отработанной энергии. Когда количества поступающей энергии уже сравнимы или больше потока энергии от Солнца, простейший путь — “охлаждение” спонтанным излучением — становится совершенно недостаточным и требуются специально налаженные каналы, работающие в форсированном режиме охлаждения. Интенсивная “служба охлаждения” должна представлять собой не менее сложную, требующую точнейшего управления систему, чем служба производства энергии. Очень богатая энергетика означает жизнь в очень тесной зависимости от функционирования обеих систем. Не исключено, что последствия отказа службы охлаждения особенно губительны. Действительно, допустим, что цивилизация потребляет мощность, равную одному проценту мощности излучения звезды типа Солнца, и живет на планете, похожей на Землю. Легко подсчитать, что подобная энерговооруженность равносильна производству в среднем примерно миллиона киловатт на каждый квадратный метр поверхности планеты. Трудно представить, что именно произойдет, если отвод энергии прекратится. Ясно одно, что достаточно нескольких секунд отсутствия охлаждения, чтобы превратить в жидкость и пар всю поверхность планеты<sup>2</sup>.

Значит, не только производство энергии, но и служба охлаждения должны функционировать с исключительной надежностью. Это можно обеспечить. Но это не легко. Главное — в глубине остается принципиально неустранимая неустойчивость, обусловленная природой жизни и цивилизации, как сугубо неравновесных диссипативных структур [4, 5]. Следует считать, что именно заботы об устойчивости должны выдвигаться на первый план в энергетике высокоразвитой цивилизации и именно они кладут предел эйфории потребления энергии при наличии новых эффективных источников.

Итак, мы должны заключить, что даже высокоразвитая цивилизация не освобождена от забот о своей среде обитания. Скорее наоборот: чем больше цивилизация потребляет (а без высокого уровня потребления высокий уровень цивилизации не возможен), тем больше ей надо заботиться о среде обитания. Подчеркнем еще раз, что этот вывод, вытекающий из фундаментальных законов природы, — двух законов термодина-

<sup>2</sup> Если цивилизация живет на планете не компактно, а рассредоточена на достаточно широких полях обитания и нет регионов весьма высокой плотности энергопотребления, то один процент энергии звезды можно, конечно, утилизировать без специального охлаждения. Однако такую ситуацию едва ли следует считать по-настоящему богатой энергетически.

мики, а также соображений неустойчивости сильно неравновесных систем — остается полностью в силе и для такой цивилизации, которая имеет в своем распоряжении очень хорошие неизвестные нам источники высококачественной энергии.

Высокоразвитая цивилизация должна вести весьма разумную и экономную линию в делах окружающей среды. Неограниченного простора действий нет, и цивилизация вынуждена установить иерархическую последовательность показателей качества жизни, ценностей и целей, на достижение которых она готова тратить ресурсы энергии и окружающей среды. Приготовление и посылка по-настоящему мощного сигнала неизбежно означает сильную дополнительную нагрузку на среду обитания в виде возрастания энтропии. Надо дополнительно потрудиться, чтобы повысить обусловленное сигналом низкое качество вещества и освободиться от отработанной энергии. Какие-то другие задачи должны будут остаться нерешенными. Цивилизация должна сделать выбор между посылкой сигнала и качеством среды обитания. Проблема выходит за пределы физики и астрономии и преобразуется в важнейший вопрос об объективной оценке материальных и духовных ценностей<sup>3</sup>.

Совсем не бесспорно, что посылка мощных сигналов другим мирам далеко в пространстве стоит на одном из первых мест в длинной очереди подлежащих решению задач. Скорее следует думать (особенно в наши дни, когда цены на горючее, энергию, сырье неуклонно растут, а проблемы окружающей среды уже вполне ясно видны), что именно те разумные и экономные цивилизации, которые считают посылку сигналов весьма любопытной деятельностью, но предпочитают стремление к более здоровой и интересной жизни, как намного более важное и актуальное, имеют хорошие шансы достичь высокого уровня развития и долгое время существовать как высокоразвитые цивилизации. Весьма вероятно, что значительная часть (если не все) высокоразвитых цивилизаций является молчаливыми цивилизациями (МОЦ). В этом может заключаться одна из простых причин, почему Вселенная не заполнена сигналами от цивилизаций.

3. Однако и в том случае, когда цивилизация успешно решила проблемы среды обитания, в изобилии снабжена источниками энергии и системами отвода избытка энтропии, она все же может не решиться на посылку сигналов. Цивилизация может считать посылку сообщений не вполне правильным действием, сомнительным с точки зрения этики: получение готовой информации может в более далекой перспективе повлиять отрицательно на другую цивилизацию, оказывая побочное действие как фактор, уменьшающий решимость менее умного соседа развивать свой собственный научно-технический потенциал [4]. Проблема особенно существенна в связи с тем, что нет никакой возможности оказывать достаточно быструю помощь попавшему в беду соседу на расстоянии сотен или тысяч световых лет. Нет возможности не только поставлять энергетическую и материальную помощь или снарядить спасательную экспедицию, нет никакой возможности послать “в реальном времени” и “спасательную информацию”.

4. Итак, имеются по крайней мере две причины быть молчаливой цивилизацией. Именно МОЦ имеют хорошие перспективы выжить и обладать долгим временем жизни на высоком уровне развития.

К счастью, и молчаливые цивилизации обнаруживаемы: их молчание

<sup>3</sup> Если цивилизация сумела выработать вполне объективные критерии размещения большого числа разнообразных задач и целей в очередь, то это значит, что разработаны объективные общие количественные критерии оценки ценностей.

нарушается по меньшей мере неизбежно сопровождающими их существование потоками длинноволнового электромагнитного излучения, уносящими отработанную энергию и освобождающими тем самым среду обитания от лишней энтропии.

Перспективным источником энергии будущего является солнечное излучение, собираемое и преобразуемое в электричество системами солнечных батарей, размещенными в космосе вдали от Земли. Если этот путь является основным в энергоснабжении высокоразвитой по-настоящему богатой энергией цивилизации, то количество преобразуемой батареей энергии должно быть сравнимо с энергией излучения питающей цивилизацию звезды. В таком случае существование цивилизации может быть обнаружено по характеру исходящего от нее потока излучения, состоящего из трех компонентов [2, 3]: высококачественное (очень горячее) излучение от питающей звезды (1); менее качественное (горячее) излучение от полней батарей, преобразующих солнечное излучение в электричество (2); низкого качества (теплое) излучение непосредственно из среды обитания цивилизации (3). В случае нашей цивилизации около Солнца характеристические температуры компонентов излучения были бы приблизительно следующие:  $T_1 = 6000$  К;  $T_2 = 1000$  К;  $T_3 = 300$  К.

Как уже отмечалось выше, обильное энергопользование в среде обитания требует усиления потока  $\mathcal{I}$  в сравнении с интенсивностью излучения черного тела, имеющего температуру  $T_3$ . Это может наложить детектируемые отпечатки на свойства потока  $\mathcal{I}$  (спектральные свойства, временные характеристики).

5. Если цивилизация все же желает вещать о своем существовании (разговорчивая цивилизация (РАЦ)), то энергетически и экологически весьма экономным путем должно быть модулирование потоков  $\mathcal{I}$  и 2.

Представляется вполне возможным, что высокоразвитая РАЦ найдет еще и другие пути поиска контактов, существенно более эффективные, чем всенаправленные сигналы устрашающей интенсивности, посылаемые непосредственно из резиденции цивилизации. Можно назвать три принципиально возможных иных способа, намного менее дорогих в смысле расхода ресурсов среды обитания.

Высокоразвитая РАЦ должна иметь хорошие знания о Вселенной, в частности о материи в метастабильных состояниях, богато насыщенных энергией. РАЦ может сознательно зажигать в такой материи далеко от своей резиденции мощные процессы, которые другие высокоразвитые цивилизации в состоянии видеть, понимать и правильно интерпретировать.

Переход от всенаправленного поискового сигнала к остронаправленному сулит огромную экономию энергии. Допустим, что одна цивилизация выставляет в мировое пространство остронаправленный высококогерентный (лазерный) луч электромагнитного излучения, а другая цивилизация способна обнаруживать этот луч по сигналу нелинейного (когерентного) отражения от него посланного ею поискового луча лазера. Конечно, количественная оценка покажет сразу, что отраженный сигнал безнадежно слаб. Так оно и есть. Однако геометрический аспект поиска взаимодействующими лучами исключительно заманчив. Действительно, если энергию изотропного сигнала, обеспечивающую детектируемый сигнал на расстоянии в один световой год, собрать в луч с расхождением в одну угловую секунду, то (в пренебрежении поглощением и рассеянием) такой же детектируемый сигнал достигнет расстояний в  $10^{10}$  св. лет, т.е. границ Вселенной. Стоит еще обратить внимание на такое очевидное геометрическое обстоятельство, что количество взаимодействующей энергии от двух лучей в области их пересечения вообще не обязательно уменьшается с расстоянием. Если

пересечение лучей одинакового расхождения имеет место на одинаковом расстоянии от обеих цивилизаций, то количество взаимодействующей энергии остается постоянным на любых расстояниях. Уменьшается плотность энергии в области пересечения, что сильно ослабляет именно нелинейное взаимодействие. Однако, может быть, нельзя полностью исключить возможность, что высокая степень когерентности лучей может в особых условиях (наличие в области пересечения вещества, в частности, в метастабильном состоянии) в достаточной мере действовать в сторону усиления отраженного сигнала.

Наконец, сообщения на молекулярном уровне типа генетического кода тоже вполне разумны с точки зрения рачительного отношения к собственной среде обитания.

Хотелось бы отметить, что реальность возможностей обнаружения РАЦ по перечисленным путям коммуникации остается, конечно, настолько открытым вопросом, что относится скорее к области научной фантастики. Однако реалистический взгляд на энергетические и экологические возможности показывает, что здесь, по-видимому, нет особо существенной разницы в сравнении с рассуждениями о посылке изотропных сверхмощных сигналов или с предположением о существовании цивилизаций, утилизирующих энергию не только своего светила, но и галактики [6].

6. Автору привлекательна мысль о том, что во Вселенной наряду с нашей все же имеются еще и другие цивилизации, в том числе достигшие более высокой ступени развития, чем мы. Может быть, таких цивилизаций и не очень мало, но большинство из них разумно и скромно молчит, тогда как разговорчивых цивилизаций или очень мало, или вовсе нет.

Получить наблюдательное подтверждение существования высокоразвитой цивилизации весьма важно: это подкрепило бы нашу веру в то, что реально преодолимы и наши собственные глобальные трудности, энергетические и экологические кризисы включительно, что и наша цивилизация имеет хорошие виды на продолжение прогресса.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Троицкий В.С. — Земля и Вселенная, 1981, № 1, с. 63.
2. Ребане К.К. — Изв. АН ЭССР. Физика. Математика, 1972, т. 21, с. 282.
3. Ребане К.К. — Публ. Тарт. астрофиз. обсерватории, 1973, № 40, с. 107.
4. Ребане К.К. — Энергия, энтропия, среда обитания. Таллин: Изд-во АН ЭССР, 1980.
5. Николис Г., Пригожин И. Самоорганизация в неравновесных системах. М.: Мир, 1979.
6. Кардашев Н.С. — Астрон. журн., 1964, т. 41, с. 282.

И.Д. Новиков, А.Г. Полнарев, И.Л. Розенталь

## ЧИСЛЕННЫЕ ЗНАЧЕНИЯ ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ ПОСТОЯННЫХ И АНТРОПНЫЙ ПРИНЦИП

Целью данной работы является дальнейшее развитие идей антропного принципа [1–4] (или, иначе, принципа целесообразности — термин одного из авторов настоящей статьи [5]). Основная идея антропного принципа состоит в том, что фундаментальные свойства Вселенной, значения основных физических констант и даже форма физических закономерностей тесно связаны с фактом структурности Вселенной во всех масштабах — от элементарных частиц до сверхскоплений галактик, с возможностью существования условий, при которых возникают сложные формы движения материи и, в конце концов, жизнь и человек.

Проблема возникновения структурности и жизни во Вселенной традиционно трактуется следующим образом. Окружающая нас Вселенная обладает определенными физическими свойствами и закономерностями, познаваемыми нами. Как в таком случае происходит эволюция Вселенной, приводящая к достаточно сложным структурам, как зарождается и эволюционирует в такой Вселенной жизнь? От ответа на эти, во многом еще не решенные вопросы зависят ответы на такие вопросы, как: возможна ли жизнь в других областях Вселенной и в другие времена и как ее искать?

Антропный принцип позволяет подойти к проблеме совершенно иначе. Прежде чем мы перейдем к обсуждению этого подхода, который в настоящее время широко дискутируется в научной литературе, сделаем следующее замечание. Любая физическая теория, например уравнения Максвелла в электродинамике, ставит перед собой задачу дать полное физическое описание той или иной системы, если известен полный набор начальных данных и, разумеется, фундаментальных констант теории. Перед теорией, как правило, не стоит задача объяснения начальных данных, поскольку в различных физических явлениях начальные данные различны. Но когда мы обращаемся к космологии, которая должна описать свойства одной единственной системы — нашей Вселенной, вопрос о начальных данных и фундаментальных постоянных неразрывно связан с вопросом: почему Вселенная именно такая, какой мы ее наблюдаем [6–8].

Суть антропного принципа заключается в следующем: Вселенная такая, какой мы ее видим, поскольку в ней существуем мы, т.е. наблюдатели, способные задать вопрос о свойствах Вселенной; при других параметрах во Вселенной невозможны сложные структуры и жизнь в известных нам формах.

Более обобщенно аналогичный вопрос можно сформулировать следующим образом (принцип целесообразности): ни в какой другой вселенной (если вообразить, что где-то или когда-то возможны другие вселенные, или хотя бы представить множество "виртуальных" — в принципе, возможных вселенных) со слегка измененными фундаментальными постоянными или с другими законами физики невозможно образование сложных устойчивых структурных единиц, атомов, молекул, планет, звезд, галактик и, разумеется, существование высокоорганизованной органической материи.

На первый взгляд это утверждение кажется странным. Действительно, если мы изменим, например, заряд электрона в несколько раз или изменим его массу, то соответственно изменится размер атомов и в соответствующее число раз изменится лишь масштаб всех предметов. Представляет-

ся, что то же самое произойдет и с другими закономерностями: скажем, увеличим гравитационную постоянную, тогда изменятся размеры небесных тел, изменятся сроки эволюции звезд, но в принципе и в этом случае в такой вселенной будут существовать атомы, небесные тела, сложные химические структуры и, возможно, жизнь. Оказывается это не так. Как показано в [5, 9–11], даже небольшие изменения фундаментальных постоянных приводят к качественным изменениям свойств Вселенной, в частности, к невозможности существования сложных структур, а значит и жизни [10].

Однако до сих пор оставался открытым вопрос — а нельзя ли согласованно и сильно изменить весь набор физических констант, параметров Вселенной (а в принципе и физических законов) так, чтобы получить модели других вселенных, в которых выполнены если не достаточные, то хотя бы необходимые условия для возникновения сложных структур и жизни?

Таким образом, возникает проблема — исследовать возможные процессы (всех масштабов) и эволюцию Вселенной, используя совсем иную физику. Во всем объеме такая задача сегодня не разрешима. Можно ограничиться более узкой задачей — исследовать свойства Вселенной при всевозможных значениях какой-нибудь группы констант. Если откладывать значения этих констант на осях в некотором фазовом пространстве, то можно попытаться выделить в этом пространстве такую область, что если значения констант принадлежат этой области, то во Вселенной существуют сложные структуры. Эту область можно назвать "островом устойчивости структур". Сформулированная выше задача соответствует попытке отыскания других "островов устойчивости" при сильно измененных значениях констант. В данной работе мы попытаемся это сделать.

Как отмечалось в [3], основные масштабы масс, длин и времен во Вселенной определяются следующими тремя безразмерными фундаментальными постоянными:

1) постоянной тонкой структуры

$$\alpha_e = e^2 / \hbar c, \quad (1)$$

где  $e$  — заряд электрона,  $\hbar$  — постоянная Планка и  $c$  — скорость света;

2) безразмерной гравитационной постоянной

$$\alpha_g = G m_p^2 / \hbar c, \quad (2)$$

где  $G$  — ньютоновская постоянная тяготения, а  $m_p$  — масса протона;

3) отношением массы электрона к массе протона  $m_e/m_p$ . Это отношение связано, как показано в [3], с величиной  $\alpha_e$  следующим соотношением:

$$m_e/m_p \sim 10 \alpha_e^2. \quad (3)$$

Соотношение (3) вытекает из следующих требований, необходимых для существования элементов, которые, в свою очередь, необходимы для возникновения жизни.

Во-первых, сильные взаимодействия не могут быть ни существенно слабее (иначе нуклоны не могли бы связываться в ядра и из всех элементов существовал бы только водород), ни существенно сильнее (в противном случае масса ядер могла бы быть сколь угодно большой и не было бы ни одного устойчивого ядра с конечной массой). Во-вторых, нейтроны должны быть нестабильны по отношению к  $\beta$ -распаду, если они свободны, и устойчивы к  $\beta$ -распаду в связанном состоянии в ядрах. В-третьих, электростатическая энергия в легких ядрах должна быть сравнима с разницей масс между нейтроном и протоном. И, в-четвертых, электростати-

ческая энергия в легких ядрах должна быть мала по сравнению с энергией связи в них, но сопоставима с энергией связи в тяжелых ядрах, т.е. должна быть такой, чтобы очень тяжелые ядра были неустойчивы относительно распада при воздействии электромагнитного поля.

Мы здесь не будем обсуждать, что произойдет при изменении других констант, например безразмерной энтропии, т.е. числа фотонов, приходящихся на один барион, или безразмерной константы слабого взаимодействия (вновь отсылаем читателя к цитированным выше работам).

Мы ограничимся рассмотрением всех возможных взаимосвязанных вариаций двух основных констант:  $\alpha_e$  и  $\alpha_g$ . Для этого остановимся только на тех необходимых для существования сложных структур условиях, которые не зависят от других констант, а зависят только от  $\alpha_e$  и  $\alpha_g$ .

Принципиальная возможность существования сложных элементов, обязательных для возникновения жизни, как уже говорилось, обеспечивается выполнением условия (3). Но для синтеза элементов необходимо существование звезд. Кроме того, для планетных систем необходимы, как отмечается в [1], конвективные звезды. Там же показано, что для этого должно выполняться неравенство

$$\alpha_g \geq \alpha_e^{1.2} (m_e/m_p)^4, \quad (4)$$

которое с учетом (3) принимает вид

$$\alpha_g \geq \alpha_e^{2.0}. \quad (5)$$

Для образования звезд, по-видимому, необходимо существование галактик. Галактики же могут сформироваться лишь после того, как произойдет процесс рекомбинации водорода в расширяющейся Вселенной. Для этого температура во Вселенной должна упасть ниже, чем

$$kT \sim 0,1 \alpha_e^2 m_e c^2. \quad (6)$$

Необходимо отметить, что для возникновения небесных тел Вселенная не должна быть "слишком открытой", т.е. плотность в ней не должна быть существенно меньше критической. Иначе в ней не происходил бы достаточный рост начальных возмущений плотности за счет гравитационной неустойчивости. С другой стороны, Вселенная не может быть "слишком замкнутой", потому что полное время ее расширения было бы слишком мало и в ней не успевало бы происходить горение водорода в звездах, приводящее к образованию тяжелых элементов. Эти элементы, вероятно, необходимы для появления сложных химических соединений и жизни. То есть плотность во Вселенной должна быть близка к критической в эпохи, сравнимые со временем эволюции звезд. Кроме того, это последнее условие означает, что эпоха доминантности вещества над излучением не может начаться задолго до эпохи рекомбинации. На стадии доминирования излучения температура зависит от времени по закону [12]

$$kT \simeq (\hbar^3 c^5 / G t^2)^{1/4}. \quad (7)$$

Потребовав, чтобы время, когда происходит рекомбинация, было меньше характерного времени жизни звезд на главной последовательности [3]

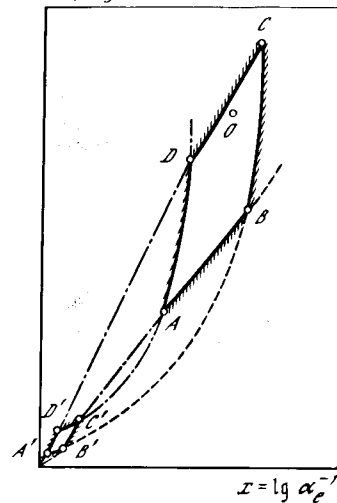
$$t_s \sim \hbar \alpha_g^{-1} / m_p c^2, \quad (8)$$

с учетом (3), (6) – (8), а также при условии, что плотность Вселенной близка к критической, получаем

$$\alpha_g < \alpha_e^{1.6}. \quad (9)$$

Области, где выполняется ряд необходимых условий для возникновения жизни (точка O соответствует нашей Вселенной)

$$y = \lg \alpha_g^{-1/4}$$



Еще одно ограничение на  $\alpha_e$  и  $\alpha_g$  можно получить, основываясь на гипотезе о возможности объединения всех физических взаимодействий в рамках единой теории [13]. Потребовав, чтобы характерная масса такого объединения, необходимая для устранения расходимостей в квантовой электродинамике, была меньше планковской, имеем

$$\alpha_g < e^{-1/2 \alpha_e}. \quad (10)$$

Можно не согласиться с тем, что условие (10) вытекает из антропного принципа. Действительно, здесь скорее можно говорить о принципе целесообразности. Мы думаем, что в реальности нет расходимостей, с которыми сталкивается теория квантовой электродинамики, а выполнение условия (10) – это самый естественный путь устранения этих расходимостей в будущей единой теории взаимодействий.

Кроме того, теория объединения слабого электромагнитного и сильного взаимодействий предсказывает нестабильность протона относительно распада на лептоны.

Постулируя квазистабильность протона, т.е. требуя, чтобы протон был практически стабилен в течение времени, необходимого для возникновения сложных структур – галактик, звезд и т.д., получаем неравенство [13]

$$\alpha_g > \alpha_e^2 e^{-1/2 \alpha_e}. \quad (11)$$

Разумеется, во всех неравенствах мы пренебрегли, где это возможно, величинами порядка единицы.

Совместное решение неравенств (5), (9) – (11) позволяет найти на плоскости параметров  $(\alpha_e, \alpha_g)$  области допустимых значений, где выполняются необходимые (хотя сразу подчеркнем, отнюдь не достаточные) условия для возникновения сложных устойчивых структур. Следует подчеркнуть, что учет дополнительных ограничений может лишь сузить разрешенную область.

Найденные в результате решений системы (5), (9) – (11) области будут "островами стабильности структур" в том смысле, как мы указывали выше. При формальном решении мы неограниченно экстраполируем полученные неравенства заведомо далеко за пределы их доказанной справедливости. Тем не менее мы идем на такую чисто формальную экстраполяцию с методической целью пояснить нашу основную мысль – как искать модели других вселенных, в которых возможны сложные структуры.

Введем следующие переменные, с которыми удобно работать:

$$x = \lg \alpha_e^{-1}, \quad y = \lg \alpha_g^{-1/4}. \quad (12)$$

Тогда система неравенств (5), (9) – (11) принимает вид

$$y < 5x, \quad y > 4x, \quad y > \frac{1}{8} \lg e \cdot 10^x, \quad (13)$$

$$y < \frac{x}{2} + \frac{\lg e}{4} \cdot 10^x.$$

Разрешенные области параметров — "острова устойчивости структур" показаны схематически на рисунке. Оказалось, что имеются две отдельные области: область  $ABCD$ , внутрь которой попадает наша Вселенная (точка  $O$ ), и область  $A'B'C'D'$ , которая соответствует  $x \ll 1, y < 1$ . Координаты характерных точек представлены ниже в таблице.

Координаты	A	B	C	D	A'	B'	C'	D'	O
x	1	2	2	1	0,01	0,01	0,2	0,1	2
y	3	9	12	5	0,1	0,1	1	1	10

Область  $A'B'C'D'$  соответствует семейству вселенных, в которых  $\alpha_e$  и  $\alpha_g$  близки к единице. Ясно, что в таких вселенных все характерные времена, размеры и массы близки к соответствующим планковским значениям. Поэтому, разумеется, в таких вселенных очень сложные структуры и жизнь невозможны: слишком мало объектов (масса каждого объекта порядка массы вселенной, порядка планковской массы).

Итак, если исходить из известных закономерностей и из полученных при "наивной" неограниченной экстраполяции необходимых неравенств, то можно прийти к заключению: существует, вероятно, только одна область параметров  $\alpha_e$  и  $\alpha_g$ , при которых возможно возникновение сложных структур и жизни во Вселенной. Подчеркнем, что область  $ABCD$  — это область, где выполняются необходимые условия для возникновения сложных структур. Область же необходимых и достаточных условий может быть существенно уже.

Конечно, детальное изучение этого вопроса может привести к иным математическим соотношениям, чем использованная нами система неравенств. Эти другие соотношения могут сильно отличаться от наших при значениях  $\alpha_e$  и  $\alpha_g$  существенно иных, чем наблюдаемые нами. Тогда, возможно, появятся и другие "острова устойчивости".

В заключение еще раз подчеркнем, что целью настоящей работы являлась постановка вопроса о поисках моделей вселенных с параметрами, сильно отличающимися от параметров нашей Вселенной, но при которых тем не менее возможны сложные структуры.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Картер Б. — В кн.: Космология: Теории и наблюдения. М.: Мир, 1978.
2. Мизнер Ч.В., Торн К.С., Уилер Дж. А. Гравитация. М.: Мир, 1977.
3. Carr B.J., Rees M.J. — Nature, 1979, vol. 278, p. 605–612.
4. Зельдович Я.Б. — Письма в "Астрон. журн.", 1981, т. 7, № 10, с. 579–581.
5. Розенталь И.Л. — УФН, 1980, т. 121, с. 239–256.
6. Dirac P.A.M. — Nature, 1937, vol. 139, p. 323.
7. Идлис Г.М. — Изв. Астрофиз. ин-та КазССР, 1958, т. 7, с. 38.
8. Dicke R.H. — Nature, 1961, vol. 192, p. 440.
9. Розенталь И.Л. Препринт ИКИ АН СССР № 400. М., 1978.
10. Розенталь И.Л. Препринт ИКИ АН СССР № 608. М., 1980.
11. Розенталь И.Л. Элементарные частицы и структура Вселенной. М.: Наука, 1984.
12. Зельдович Я.Б., Новиков И.Д. Строение и эволюция Вселенной. М.: Наука, 1975.
13. Розенталь И.Л. — Письма в ЖЭТФ, т. 31, № 9, 1980, с. 521–524.

#### ГАЛАКТИЧЕСКИЙ "ПОЯС ЖИЗНИ"

Настоящая статья имеет целью оценить возможное число технологических цивилизаций в Галактике, исходя из астрономических идей, свидетельствующих как будто об особых условиях, в которых находится узкая кольцевая область Галактики, включающая галактическую орбиту Солнечной системы [1]. Теоретически возможен широкий спектр допустимых гипотез — вплоть до полярных: есть основания полагать, что мы одиноки в Галактике [2], так же как не исключено и обратное [3]. Если справедлива последняя точка зрения, то, очевидно, можно допустить существование цивилизаций других типов [4] и, вероятно, различных форм жизни [5].

Мы, как упоминалось, преследуем более узкую цель — оценить по порядку величины возможное число технологических цивилизаций нашего типа в Галактике, исходя из идеи об исключительном положении, в котором находятся в ней Солнечная система и другие объекты, близкие к галактоцентрической орбите Солнца. Поскольку Солнечная система в Галактике возникла и эволюционировала в специальных условиях (см. далее), в которых находится и вся узкая кольцевая зона, включающая в себя галактическую орбиту Солнца, то можно предположить, что это кольцо есть галактический "пояс жизни", т.е. место, где могут возникать системы, подобные Солнечной, с планетами и жизнью.

В космологии существует атопный принцип, основанный на гипотезе о том, что Вселенная устроена именно так, чтобы в ней мог возникнуть человек [6, 7]. В настоящей статье формулируется принцип иного рода — галактический антопный принцип (ГАП).

Выделенность кольцевой зоны, включающей в себя орбиту Солнечной системы в Галактике, связана со следующим обстоятельством. Как известно, спиральные рукава нашей и других галактик являются волнами плотности, распространяющимися по звездному населению галактических дисков.

Угловая скорость вращения Галактики  $\Omega = \Omega(R)$ , определяемая по ее кривой вращения, есть убывающая функция галактоцентрического расстояния  $R$ . В области, близкой к галактической орбите Солнца,  $\Omega_{\odot} = \Omega(R_{\odot}) = 25 \text{ км/с} \cdot \text{кпк}$  и  $R_{\odot} = 10 \text{ кпк}$  (по модели Шмидта [8]). При этом, например  $\Omega(5 \text{ кпк}) = 45 \text{ км/с} \cdot \text{кпк}$  и  $\Omega(15 \text{ кпк}) = 14 \text{ км/с} \cdot \text{кпк}$ . В отличие от Галактики, вращение которой дифференциальное ( $\Omega = \Omega(R)$ ), волны плотности — спиральные рукава — вращаются с постоянной угловой фазовой скоростью  $\Omega_p = \text{const}$  (твердотельно). Величина  $\Omega_p$  является свободным параметром волновой теории спиральной структуры и определяется из наблюдений. Согласно теории, в галактиках могут возбуждаться волны плотности двух типов — коротковолновая и длинноволновая моды, проявляющиеся как спиральная структура. Помимо других различий, существенно, что им соответствуют разные значения  $\Omega_p$ . Согласно [9], спиральная структура Галактики обусловлена первыми, причем для них  $\Omega_p = 11\text{--}13 \text{ км/с} \cdot \text{кпк}$ , а согласно [10] — вторыми, для которых  $\Omega_p = 23\text{--}24 \text{ км/с} \cdot \text{кпк}$ . Эта альтернатива в теории спиральной структуры может быть разрешена только наблюдениями. Наблюдательные данные последних лет все более уверенно свидетельствуют в пользу второй точки зрения (подробнее см. [11]). По-видимому, наиболее точное, самосогласованное

определение параметров спиральной структуры Галактики из результатов наблюдений дает значение  $\Omega_p = 23,6 \pm 3,6$  км/с · кпк [12].

Поскольку  $\Omega = \Omega(R)$ , а  $\Omega_p = \text{const}$ , то в каждой спиральной галактике существует коротационный круг с радиусом  $R = R_c$ , на котором выполняется условие  $\Omega(R_c) = \Omega_p$ . На коротационном круге вращение волн плотности синхронно с вращением галактики. Поэтому зона коротации (узкое кольцо, охватывающее коротационный круг) в каждой галактике является местом, особо выделенным и единственным. Как следует из приведенных выше цифр, Солнечная система в Галактике расположена в зоне коротации, т.е. находится в специальных условиях, так же как и остальные объекты в этой зоне. Согласно [1, 13], именно такое специфическое местоположение Солнца в Галактике позволяет разрешить старую проблему сосуществования трех временных шкал в космогонии Солнечной системы, установления по радиоактивности различных нуклидов. Кроме того, как показано в [13], условия звездообразования и эволюции облаков межзвездного газа в зоне коротации и вне ее существенно различны. Эти обстоятельства в сочетании с фактом существования Солнечной системы и жизни в ней подводят нас к гипотезе ГАП.

При втекании межзвездного газа, вращающегося вместе с галактическим диском в спиральный рукав на его внутренней кромке возникает галактическая ударная волна, в которой происходит сжатие газа и, как следствие, звездообразование [14]. Здесь могут образовываться маломассивные звезды (как Солнце) и массивные сверхновые II типа.

Солнце в Галактике расположено между спиральными рукавами Персея и Стрельца. Градиенты возрастов звезд в этих рукавах имеют противоположные знаки [15, 16]. Это означает, что между ними действительно находится коротационный круг (вблизи которого, таким образом, расположено Солнце), так как знак градиента равен  $\text{sgn}(\Omega_\odot - \Omega_p)$ . Вместе с тем Солнце расположено между рукавами (а не внутри какого-либо из них). Это означает, что  $\Omega_p \neq \Omega_\odot$ , поскольку звездообразование идет в рукавах, хотя разность  $\Omega_p - \Omega_\odot$  должна быть мала. Используя приведенные выше значения  $\Omega_\odot$  и  $\Omega_p$ , находим для расстойки

$$\Delta\Omega = \Omega_\odot - \Omega_p = 1,4 \pm 3,6 \text{ км/с} \cdot \text{кпк}.$$

Отсюда следует, что  $\Delta\Omega/\Omega_\odot \sim \Delta\Omega/\Omega_p \sim 0,1$ , т.е.  $\Delta T$  — период вращения Солнца относительно волн плотности — спиральных рукавов на порядок больше периода вращения Галактики в зоне коротации, равного  $T_\odot \sim 2 \cdot 10^9$  лет. Таким образом, порядок временной шкалы  $\Delta T$  — миллиарды лет. Это — порядок "времени жизни" Солнечной системы, оцениваемый как  $T_{SS} \approx 4,6 \cdot 10^9$  лет.

Сейчас Солнце движется по направлению к рукаву Персея. Как мы покажем ниже, при вхождении в этот рукав наша цивилизация может погибнуть под влиянием облучения от вспыхивающих здесь сверхновых. Такая же участь может, по-видимому, ожидать и другие цивилизации, возникшие в коротационной зоне. Поэтому  $\tau_{\text{tot}}$  — полное время жизни цивилизации нашего типа, — согласно ГАП, есть время, в течение которого соответствующая звезда с ее планетной системой (и жизнью в ней) движется от рукава к рукаву. При этом, очевидно, цивилизации, не дошедшие до нашего уровня развития, имеют  $\tau = \tau_t < T_{SS}$ , а перешедшие его имеют  $\tau = \tau_t > T_{SS}$ . Время, оставшееся нашей цивилизации до ее вероятной гибели, есть  $\tau_d = \tau_{\text{tot}} - T_{SS}$ .

Впервые вопрос о влиянии, которое может оказать вспышка близкой сверхновой на "земную биологию", рассмотрели В.И. Красовский и

И.С. Шкловский в 1957 г. [17]. Современное состояние вопроса изложено И.С. Шкловским в его книге [18]. Рассмотрим влияние вспышки близкой сверхновой на "земную биологию" в свете идей настоящей статьи.

Частота вспышек сверхновых II типа (SN II) в Галактике порядка  $\nu \approx 0,02 \text{ год}^{-1}$  [19]. Они вспыхивают в спиральных рукавах, причем скорее всего под действием триггера — галактической ударной волны.

Оценим расстояние, на котором может вспыхнуть ближайшая к Солнцу сверхновая. Как правило, спиральные рукава галактик хорошо аппроксимируются логарифмической спиралью. При этом длина отрезка дуги спирального рукава равна

$$L = \frac{\sqrt{1+K^2}}{K} (R_2 - R_1),$$

где  $R_1, R_2$  — расстояния от центра галактики до концов рассматриваемого отрезка дуги спирали в полярных координатах;  $K = \frac{1}{2} \text{tg } i$ ;  $i$  — угол закрутки спирали. Поскольку  $i \approx 7-8^\circ$ , то  $K \approx 0,06$ . Отсюда при  $R_2 = 14 \text{ кпк} \gg \gg R_1$  находим  $2L \approx 450 \text{ кпк}$ . Относительное число вспышек (от общего числа) SN II на расстоянии  $R$  от Солнца равно отношению объемов [18]

$$\rho = \nu/V, \quad (1)$$

где  $\nu = \frac{4}{3} \pi R^3$ ;  $V = 2L\pi r^2$ . Здесь предполагается, что спиральный рукав

имеет круговое сечение, радиус которого равен  $r$ . С другой стороны, количество вспышек SN II на расстоянии  $R$  от Солнца во время прохождения последнего через спиральный рукав ( $\Delta T_\odot$ ) равно

$$\rho_1 = \frac{\tau_{\text{SN II}}}{\Delta T_\odot} \rho, \quad (2)$$

где  $\tau_{\text{SN II}} = \nu^{-1}$ ,  $\Delta T_\odot = r/(\Omega_\odot - \Omega_p) R_\odot \sin i$ . Сравнивая (1) и (2), находим

$$R = [1,5 L r \tau_{\text{SN II}} R_\odot (\Omega_\odot - \Omega_p) \sin i]^{1/3}.$$

При  $r \approx 150 \text{ пк}$ ,  $R_\odot = 10 \text{ кпк}$ ,  $\Omega_p = 24,6 \text{ км/с} \cdot \text{кпк}$  (см. далее) находим  $R \approx 10 \text{ пк}$ .

Как показал И.С. Шкловский [18], главным эффектом от вспышки близкой сверхновой является увеличение интенсивности космических лучей приблизительно на два порядка в области, окружающей сверхновую радиусом  $\sim 10 \text{ пк}$ . Естественный фон радиоактивности на Земле, обусловленный космическими лучами, приводит к дозе облучения порядка  $D_0 \approx 0,04 \text{ бэр/год}$  [20]. Стократное увеличение интенсивности вследствие вспышки, близкой ( $R \sim 10 \text{ пк}$ ) сверхновой, приводит к дозе порядка  $D \approx 4 \text{ бэр/год}$ . Согласно [18], Солнечная система движется через радиотуманность, образовавшуюся вокруг вспыхнувшей сверхновой, в течение времени  $\sim 10^4$  лет.

В то же время известно [21], что суммарная средняя индивидуальная вероятность гибели homo sapiens в результате облучения, отнесенная к дозе в 1 бэр, равна

$$\rho = \rho_1 + \rho_2 = 1,40 \cdot 10^{-4} \text{ бэр}^{-1}, \quad (3)$$

где  $\rho$  — суммарный риск гибели;  $\rho_1 = 10^{-4} \text{ бэр}^{-1}$  — риск гибели от рака;  $\rho_2 = 0,4 \cdot 10^{-4} \text{ бэр}^{-1}$  — риск гибели от летальных мутаций.

Отсюда грубая оценка показывает, что при дозе  $D \approx 4 \text{ бэр/год}$  ежегодно должно вымирать 0,056% населения земного шара. Таким образом, за

$10^4$  лет может вымереть все население, если гибель не перекрывается воспроизводством — естественным приростом населения вследствие рождаемости. В современных условиях ежегодный прирост населения составляет ~ 2,3% [22], что существенно перекрывает риск гибели. Однако в более ранние эпохи прирост численности населения был существенно ниже [22]:

Временной интервал	Время удвоения численности населения, годы лет	Соответствующий ежегодный прирост населения, %
От древнего до среднего палеолита	170 000	0,0004
После нового палеолита в течение 15 000 лет	10 000	0,007
В течение 1700 лет после начала нашей эры	400	0,17
С 1830 г. до наших дней	100	0,7
Наши дни	30	2,3

Как следует из таблицы, на ранних этапах эволюции нашей цивилизации близкая вспышка сверхновой должна была быть губительной для человеческой популяции, так как естественный прирост населения, согласно (3), был меньше, чем риск гибели. С другой стороны, в будущем прирост населения должен будет резко сократиться, так как наша планета вряд ли может обеспечить жизнедеятельность более 10 млрд людей [22]. Поэтому можно предполагать, что в будущем риск гибели от облучения также будет существенно выше, чем возможный прирост.

Конечно, сейчас трудно делать прогнозы о будущем нашей цивилизации, которая, с одной стороны, может сама себя уничтожить вследствие какой-либо глобальной войны, а с другой — может изобрести эффективные средства защиты своей планеты от долговременного облучения.

Исходя из приведенных соображений, будем считать временем жизни ( $\tau_{tot}$ ) цивилизации, подобной нашей, время нахождения ее звезды между спиральными рукавами Галактики.

Фазовый угол  $\chi_0$ , характеризующий положение Солнца между спиральными рукавами Галактики, согласно [12], равен  $\chi_0 = 151 \pm 9^\circ$ . Соответственно полярные углы  $\theta_1$  и  $\theta_2$  (см. рисунок) равны

$$\theta_1 = \chi_0/2 \approx 75^\circ, \quad \theta_2 = \pi - \chi_0/2 \approx 105^\circ. \quad (4)$$

С помощью (4) получим

$$\tau_d = \frac{\theta_1}{\theta_2} T_{SS}. \quad (5)$$

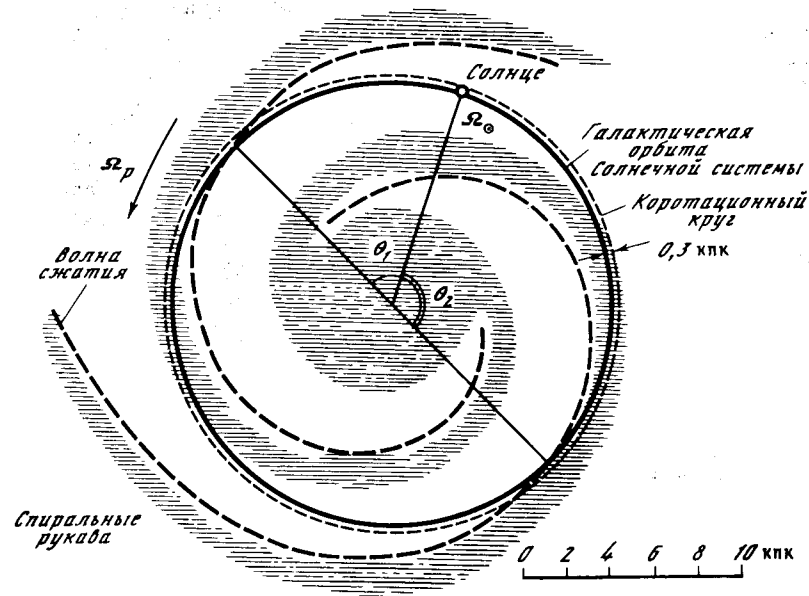
Таким образом, при  $T_{SS} \sim 4,6 \cdot 10^9$  лет находим время жизни, оставшееся нашей цивилизации (если не учитывать возможность катаклизмов типа глобальной войны на самоуничтожение),  $\tau_d \approx 3,3 \cdot 10^9$  лет.

Используя ГАП, оценим верхний предел полного числа цивилизаций нашего типа (ЦНТ) в Галактике. Полагаем, что в зоне коротации число звезд, имеющих планетные системы, порядка числа звезд типа Солнца (G2-карликов). В области с радиусом в 25 пк, окружающей Солнце, G2-карликов приблизительно 2–3% [23, 24].

$$\text{Можно показать, что число G2-карликов в зоне коротации} \quad (6)$$

$$n_{G2}^{corot} \approx 7 \cdot 10^7.$$

Число развитых цивилизаций в Галактике, находящихся на  $\tau$ -уровне



Схематическое изображение спиральных рукавов Галактики и современное положение движущейся по галактической орбите Солнечной системы

своего технологического развития, описывается известной формулой Дрейка [24]:

$$n_\tau = NP_1 P_2 P_3 P_4 \frac{\tau}{T_G}, \quad (7)$$

где  $N$  — число звезд в Галактике;  $P_1, P_2, P_3, P_4$  — вероятности того, что звезда имеет планетную систему, что на планете есть жизнь, есть разум и есть технология соответственно;  $\tau$  — временная шкала технологической эры;  $T_G$  — возраст Галактики.

Согласно ГАП, формулу (7) следует заменить формулой

$$n_\tau = n_{G2}^{corot} P_1 P_2 P_3 P_4 \frac{\tau}{\tau_{tot}}, \quad (8)$$

где  $\tau$  — время, отсчитываемое от момента выхода данной цивилизации (вместе с ее звездой) из спирального рукава, в котором она зарождалась. Верхний предел  $n_\tau$  найдем, положив  $P_1 = P_2 = P_3 = P_4 = 1$ . Это соответствует предположению о том, что в зоне коротации число звезд, имеющих планетные системы и на них разумную жизнь, порядка  $n_{G2}^{corot}$ . В сущности такая гипотеза следует духу ГАП. Поскольку  $\tau_{tot} = \tau_d + T_{SS} = 7,9 \cdot 10^9$  лет, то, согласно (8) и (6), возможное число цивилизаций нашего технологического уровня в зоне коротации по порядку величины есть

$$n_{T_{SS}} \approx n_{G2}^{corot} \frac{T_{SS}}{\tau_{tot}} \approx 4 \cdot 10^7. \quad (9)$$

Из (5) находим отношение возможного числа цивилизаций более разви-



$$\frac{n_{\tau_+}}{n_{\tau_-}} = \frac{\tau_d}{T_{SS}} = \frac{\theta_1}{\theta_2} \approx 0,7. \quad (10)$$

Оценки (9) и (10) дают верхний предел возможного числа технологических цивилизаций в рамках гипотезы ГАП. Если мы действительно не одиноки, то орбита, по которой движется Солнечная система в Галактике, может быть образно названа "дорогой жизни" так же, как зона коротации — "поясом жизни" в Галактике. Очевидно, нижний предел числа технологических цивилизаций есть  $n_{\tau} = n_{T_{SS}} = 1$ , что соответствует нашему одиночеству. В последнем случае феномен существования нашей цивилизации случаен. Пользуясь образом, заимствованным у писателей-фантастов Стругацких, можно сказать, что в этом случае ситуация напоминает "пикник на обочине" Галактики (мы находимся почти на ее краю), устроенный природой, случайно приведший к возникновению нашей цивилизации.

Все приведенные в статье соображения в равной мере относятся и к другим спиральным галактикам.

Мы глубоко благодарны И.С. Шкловскому за важные замечания и А.М. Поверенному за ценную дискуссию.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Марочник Л.С. — ДАН СССР, 1981, т. 261, № 3, с. 571—574.
2. Шкловский И.С. — Вопр. философии, 1976, № 9, с. 80.
3. Кардашев Н.С. — В кн.: Проблема поиска внеземных цивилизаций. М.: Наука, 1981, с. 29.
4. Кардашев Н.С. — В кн.: Внеземные цивилизации: Тр. Бюрок. симпози., 1964 г. Ереван: Изд-во АН АрмССР, 1965, с. 37.
5. Molten P.M. — Space flight, 1973, vol. 15, N 4, p. 139—144.
6. Dicke R.H. — Nature, 1961, vol. 192, p. 440.
7. Carter B. — In: Proc. IAU Symp. N 63, ed. M. Longair, Reidel Publ. Comp. Boston, USA, 1974.
8. Schmidt M. — Stars and Stellar Systems, 1965, vol. 4, p. 513.
9. Lin C.C., Yuan C., Shu F. — Astrophys. J., 1969, vol. 155, p. 721.
10. Marochnik L.S., Mishurov Yu.N., Suchkov A.A. — Astrophys. Space Sci., 1972, vol. 19, p. 285.
11. Marochnik L.S., Suchkov A.A. — Astrophys. Space Sci., 1981, vol. 79, p. 337.
12. Мишуров Ю.Н., Павловская Е.Д., Сучков А.А. — Астрон. журн., 1979, т. 56, с. 268.
13. Марочник Л.С. Препринт ИКИ АН СССР № 650. М., 1981; Astrophys. Space Sci., 1983, vol. 89, p. 61.
14. Roberts W.W. — Astrophys. J., 1969, vol. 158, p. 123.
15. Марочник Л.С., Сучков А.А. Галактика. М.: Наука, 1984. 392 с.
16. Гривнев Е.М. — Письма в "Астрон. журн.", 1981, т. 7, с. 543.
17. Красовский В.И., Шкловский И.С. — ДАН СССР, 1957, т. 116, с. 197.
18. Шкловский И.С. Сверхновые звезды. М.: Наука, 1976.
19. Аллен К.У. Астрофизические величины. М.: Мир, 1977.
20. Козлов В.Ф. Справочник по радиационной безопасности. М.: Атомиздат, 1977.
21. Радиационная защита: Рекомендация МКРЗ № 26. М.: Атомиздат, 1978.
22. Дубинин Н.П. Общая генетика. М.: Наука, 1976.
23. Старикова Г.А. — Астрон. журн., 1960, т. 37, с. 476.
24. Drake F. Discussion at Space Science Board Nat. Acad. Sci. Conf. on Extraterrestrial Intelligent Life, Green Bank, USA, 1961.

### НЕКОТОРЫЕ АСТРОНОМИЧЕСКИЕ ЯВЛЕНИЯ КАК ВОЗМОЖНЫЙ РЕЗУЛЬТАТ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ВЫСОКОРАЗВИТЫХ ЦИВИЛИЗАЦИЙ

Считается, что следы деятельности внеземных цивилизаций (ВЦ) в космосе до сих пор не обнаружены. Однако в природе существует много астрономических объектов и явлений, которые можно интерпретировать как результат деятельности высокоразвитых цивилизаций. Ниже дается обзор таких объектов и явлений и излагаются трудности их естественно-го объяснения.

*Голубые страглеры.* После того, как в центре образующейся звезды начинаются ядерные реакции превращения водорода в гелий, звезда прекращает гравитационное сжатие и становится объектом главной последовательности на диаграмме Герцшпрунга—Ресселла (температура—светимость). Положение звезды на главной последовательности зависит от ее массы — чем больше масса, тем выше светимость и температура звезды. С другой стороны, чем больше масса, тем быстрее происходит дальнейшая эволюция звезды главной последовательности. В результате звезды разных масс покидают главную последовательность за различное время. Для звезд с массами  $> 4$  масс Солнца это время  $< 10^8$  лет, с массами  $> 2$  масс Солнца —  $< 10^9$  лет, с массой Солнца — около  $9 \cdot 10^9$  лет, а с массами меньше Солнца —  $10^{10}$  лет. Таким образом, звезды-карлики спектральных классов К и М, образовавшиеся в самом начале эволюции Галактики, до сих пор находятся на главной последовательности, в то время как существующие сейчас более массивные, чем Солнце, звезды все образовались не раньше чем  $10^{10}$  лет назад.

Звезды покидают главную последовательность после истощения запасов водорода в ядре и после образования зоны горения водорода в сферическом слое вокруг ядра.

В результате описанной эволюции главные последовательности звездных скоплений разного возраста имеют различную протяженность в сторону горячих звезд. Наиболее горячие звезды, существование которых разрешает теория звездной эволюции, находятся около так называемой точки поворота. Однако фотометрические исследования звездных скоплений показали, что в ряде из них имеются звезды на главной последовательности, лежащие выше точки поворота. Такие звезды были названы голубыми страглерами (blue stragglers). Иногда их называют голубыми странниками, беглецами или бродягами. Голубые страглеры обнаружены как в рассеянных (NGC 7789, NGC 2158, M 67 и др.), так и в некоторых шаровых скоплениях (M 3, M 71, 47 Tuc, NGC 6352, M 15). Обнаружены они и в галактическом поле. В некоторых случаях их массы превышают массы звезд около точки поворота до 6 раз. Такие звезды должны были давно покинуть главную последовательность и превратиться в гиганты. Выдвигаются различные гипотезы для объяснения голубых страглеров, однако все они не согласуются с наблюдательными данными. Не все голубые страглеры — двойные звезды и поэтому их массы нельзя объяснить переливанием вещества из другого компонента. Скорее всего эти объекты сейчас имеют те же массы, что и во время образования, но что-то замедлило эволюцию и заставило их остаться на долгое время на главной последовательности. Это можно объяснить увеличением запасов водорода

в ядре, для чего необходимо, чтобы в то время, когда горение водорода в ядре завершается, вещество гелиевого ядра перемешивалось с богатыми водородом слоями звезды. В результате в ядро попадает достаточно водорода, чтобы удержать звезду на главной последовательности еще на миллиард лет. "Подсыпка" ядерного топлива в ядро может быть организована высокоразвитой цивилизацией, живущей в окрестностях данной звезды. Легко догадаться, с какой целью это может делаться: искусственное удерживание звезды на главной последовательности позволяет существенно продлить постоянные температурные условия на ее планетах. Нашей цивилизации через 4 млрд лет будет весьма кстати применить этот метод, чтобы избежать быстрого превращения Солнца в красный гигант.

*Пекулярные и металлические звезды.* Среди звезд спектрального класса близких к главной последовательности, встречаются странные объекты, носящие название пекулярных звезд (для них существует обозначение Ap). В их спектрах усилены линии некоторых химических элементов, которые в нормальных звездах имеют в сотни и тысячи раз меньшую распространенность. Это марганец, ртуть, кремний, стронций, хром, европий. Мало того, эти элементы чаще всего сконцентрированы на поверхности звезды в пятнах различной величины. Когда звезда вращается вокруг оси, линии этих элементов то появляются в спектре звезды, то исчезают. Многие из этих звезд имеют магнитные поля, напряженность которых в тысячи раз превышает поле Солнца. Удивительное свойство звезды HD 1011065 обнаружил в 1961 г. австралийский астроном А. Пшибильски. В ее спектре видны сильные линии очень редкого элемента гольмия, в то время как линии обычно столь обильного железа отсутствуют.

В спектрах так называемых металлических звезд линии всех металлов усилены в десятки раз в более или менее одинаковой пропорции. Такое увеличение обилия металлов не может быть свойством вещества, из которого образовались данные звезды — это исключается теорией эволюции, а также тем, что металлические звезды встречаются в одних и тех же скоплениях вместе с нормальными. Нет сомнения, что это лишь поверхностное явление. Металлические звезды в отличие от пекулярных не обладают сильными магнитными полями.

Итак, обилие ряда металлов, наблюдающееся на поверхности некоторых горячих звезд, не понятно с точки зрения современной теории звездной эволюции. При наличии фантазии можно представить себе, что это промышленные отходы инженерной деятельности высокоразвитых цивилизаций. Конечно, масштабы этой деятельности должны быть грандиозны и охватывать миллионы или даже миллиарды звезд.

*Углеродные, циркониевые и бариевые звезды.* Известно, что у холодных звезд-гигантов наблюдаются большие различия химического состава. Среди звезд с эффективной температурой  $T_e < 3800$  К подавляющее большинство принадлежит к спектральному классу M с сильными полосами TiO.

Кроме того, в интервале тех же температур и светимостей встречаются звезды спектрального класса S, в которых вместо полос TiO видны полосы ZrO. Встречаются также как бы переходные звезды от M к S с полосами обоих окислов. В атмосферах как M-, так и S-звезд содержание кислорода превышает содержание углерода, причем в M-звездах отношение  $O/C \approx 1,7$ , т.е. близко к солнечному отношению.

В S-звездах совместно с увеличением содержания циркония увеличивается содержание углерода. Когда углерода становится больше, чем кислорода, S-звезды превращаются в углеродные звезды, в которых отношение  $O/C$  заключено в пределах от 0,1 до 0,9. В углеродных звездах, как и в

S-звездах, сильно (до 100 раз) увеличено содержание тяжелых металлов — бария, стронция, лантана и др.

Среди звезд более высоких температур ( $3800 < T_e < 5000$  К) звезды с солнечным химическим составом называют K-звездами, а звезды с увеличением содержанием тяжелых металлов и углерода — бариевыми и циановыми звездами. Наблюдаются также звезды промежуточных типов.

Что же вызывает столь большое разнообразие химического состава звезд-гигантов низких температур? Естественно ожидать, что причина этого в выходе на поверхность продуктов горения ядерных реакций, происходящих в их недрах. Это реакции горения водорода в CNO-цикле, реакции медленного нейтронного синтеза тяжелых элементов, реакции горения гелия с превращением в углерод. Однако все эти реакции проходят на больших глубинах и теория звездной эволюции не видит возможности для перемешивания вещества между внешними и центральными областями звезды. Углерод и тяжелые металлы, образовавшиеся в недрах, должны остаться там в течение всего времени жизни звезды. Некоторые авторы все же допускали возможность перемешивания вещества и выхода на поверхность продуктов ядерных реакций, обогащенных углеродом и тяжелыми металлами. Согласно теории, некоторое перемешивание могло бы наступить во время так называемой гелиевой вспышки в ядре звезды, т.е. начала горения гелия и превращения его в углерод. Другая возможность перемешивания усматривалась в более поздней стадии эволюции гигантов, когда водород и гелий горят в двух концентрических слоях. Но количественный анализ атмосфер красных гигантов плохо согласуется с теоретическим предсказанием на основе ядерной эволюции в недрах и перемешивания. Особенно это касается наблюдаемого большого содержания изотопа  $^{13}C$ , обилие которого нельзя объяснить в рамках наших знаний о натуральных ядерных реакциях.

Кроме того, для теории перемешивания в последнее время возникли новые затруднения. Оказалось, что углеродные и бариевые звезды встречаются не только среди красных гигантов, но и среди субгигантов, где ядерных реакций синтеза тяжелых металлов вообще нет, не происходит и перемешивание вещества. Наконец, в последнее время обнаружены углеродные карлики, лежащие на главной последовательности (звезды  $\rho$  Cnc, HD 145675, GD 439, GH 7—21, G 77—61, 2C 24 (SA 51)). Оказалось, что давно известный близкий K-карлик  $\epsilon$  Ind также показывает признаки увеличенного обилия углерода и бария.

Наконец, нельзя не упомянуть, что в атмосферах S-звезд и некоторых углеродных звезд наблюдаются ощутимые количества радиоактивного элемента технеция, полураспад которого составляет лишь несколько сот тысяч лет. Этот элемент в естественных условиях не существует. Тогда откуда он появился в циркониевых звездах, возраст которых миллиарды лет? Мало того, в некоторых из них сильно увеличено содержание очень редкого и короткоживущего при высоких температурах элемента — лития. Например, в атмосферах некоторых углеродных звезд содержание лития увеличено в 100 000 раз (!) и его линии по своей интенсивности близки к желтому дублету весьма обильного элемента натрия!

Итак, в атмосферах холодных звезд происходит что-то совершенно непонятное. Трудно избежать мысли о том, что наблюдаемые углерод, технеций, литий, а может быть и тяжелые металлы возникли не в недрах звезды, а на ее поверхности. И вновь причиной этому может быть деятельность сверхмощных цивилизаций, способных в течение миллионов и миллиардов лет изменить химический состав звездных атмосфер холодных звезд. Что это — отходы технологических процессов или само производ-

ство элементов и их изотопов — не нам судить. В связи с этим нельзя не вспомнить, что литий является прекрасным ядерным топливом.

Рассказ о загадочных явлениях в астрофизике можно было бы продолжить. Например, что вызывает появление и свечение объектов Херби-га-Аро? Что происходит со звездой FG Sge, которая быстро передвигается по диаграмме Герцшпрунга-Ресселла и в атмосфере которой в течение нескольких лет исчезает железо, но усиливаются линии тяжелых металлов? Не проводится ли над объектом SS 433 гигантский физический эксперимент сверхцивилизации, начатый в 1929 г. и который закончится гигантским взрывом через 50 лет? Не являются ли звездные кольца километровыми столбами спиральных ветвей Галактики?

Автор не думает, что все перечисленные объекты и явления — это продукт деятельности сверхцивилизаций. Пройдут годы и для многих из них будут найдены естественные причины их возникновения. Однако мы не должны закрывать глаза на возможность, что хотя бы некоторые из этих явлений могли быть вызваны искусственно.

УДК 576.12

*В.С. Стрельницкий*

### НЕОБХОДИМОСТЬ И СЛУЧАЙНОСТЬ В СТРУКТУРНОЙ ЭВОЛЮЦИИ ВЕЩЕСТВА ВО ВСЕЛЕННОЙ

То, что появление нашей цивилизации есть результат направленной биологической эволюции, можно считать общепризнанным научным фактом. Гораздо меньше единства в вопросе о том, когда началась та прогрессивная эволюция вещества, которая привела к возникновению цивилизации. Существует по крайней мере две точки зрения. Согласно первой, само понятие прогресса в эволюции приложимо лишь к биологической форме движения материи и лишено содержания в приложении к другим формам. Согласно второй, биологическая эволюция является лишь этапом общей прогрессивной эволюции определенной части вещества во Вселенной. Каждая из этих точек зрения может стать определенным эвристическим принципом при попытках прогнозировать будущее нашей цивилизации, а также при оценках численности и качественного разнообразия внеземных цивилизаций (ВЦ), и результаты, вероятно, будут сильно различаться.

Я придерживаюсь второй точки зрения и ниже приведу некоторые аргументы в ее пользу. Но прежде рассмотрим аргументацию сторонников первой концепции.

В наиболее ясной форме ее выразил французский биохимик, лауреат Нобелевской премии Ж. Моно [1]. Согласно Моно, первоосновой жизни и ее единственной "целью" является "воспроизведение инвариантности" (репродукция) — свойство, случайно приобретенное некоторой частью вещества на Земле. Процесс репродукции реализуется на молекулярном уровне и поэтому сопровождается неизбежными ошибками (мутациями), не имеющими с самим явлением репродукции никакой имманентной связи. Случайный характер мутаций, усиленный случайностью рекомбинаций генов при половом размножении, приводит к полной непредсказуемости биологической эволюции, это процесс "чистого творчества". В результате конкуренции и дарвиновского естественного отбора мутантов происхо-

дит постепенное усовершенствование организмов в смысле их возрастающей приспособленности к окружающим условиям, что по необходимости сопровождается их усложнением и обуславливает "прогрессивный" характер биологической эволюции. Таким образом, по Моно, прогрессивность биологической эволюции является некоторым "побочным эффектом" процесса размножения, результатом "несовершенств" этого процесса. Поскольку другим уровням организации материи (физическому, химическому, социальному) размножение не свойственно, то никакой прогресс в эволюции на этих уровнях невозможен. Всякую попытку приписать неживой природе или человеческому обществу какой-либо элемент развития Моно осуждает как "анимизм" (оживление природы), при этом в число "анимистов" у него попадают, помимо древних "оживителей" природы, такие разные мыслители, как Лейбниц, Гегель, Тейяр де Шарден, Спенсер и др.

Результаты современных астрофизических исследований не согласуются с такой точкой зрения. Общеизвестно, что астрофизика в нашем столетии стала "насквозь эволюционной" наукой. Созданы теории эволюции Метагалактики (расширяющаяся Вселенная), галактик, звезд, межзвездной среды, планетных систем, и все эти теории хорошо "сшиваются" друг с другом в единую эволюционную последовательность событий. Правда, под эволюцией в астрофизике обычно понимают любое изменение во времени, безотносительно к тому, следует ли считать это изменение прогрессивным или регрессивным. Тем не менее, сопоставляя отдельные теории, можно вычленив в эволюции космического вещества определенные линии прогрессивного развития. В частности, на уровне микрочастиц происходит постепенное усложнение небольшой части вещества на фоне грандиозных процессов обесценения огромных масс вещества, связываемого в умирающих звездах. Усложнение вещества осуществляется путем образования иерархических структур, хранящих в себе информацию о всех предшествующих этапах эволюции. Так, обнаруживаемые в плотных межзвездных облаках сложные органические молекулы — вершина этого прогресса — несут информацию об истории межзвездных облаков или оболочек холодных звезд, где эти молекулы образовались в результате химических реакций. Входящие в состав этих молекул ядра являются носителями информации о квазиравновесной или, напротив, взрывоподобной эволюции звездных недр, где ядра образовались в результате термоядерных реакций. Входящие в состав ядер и оболочек молекул элементарные частицы несут на себе печать эволюции Вселенной в первые мгновения после Большого взрыва, когда эти частицы образовались в результате взаимных превращений и "закалки" их состава в быстро остывающей из-за расширения плазме.

Число иерархических уровней может служить мерой сложности системы [2, 3] (хотя этот критерий, по-видимому, не универсален, как, впрочем, и все другие предлагавшиеся критерии сложности [4]). Таким образом, в последовательности элементарные частицы (ЭЧ)—ядра (Я)—атомы и ионы (А)—молекулы (М), реализующейся по мере эволюции Вселенной, сложность структур монотонно возрастает. О том, что эта последовательность является единой развивающейся последовательностью, говорит закономерное (монотонное) изменение вдоль нее и других важных параметров, помимо сложности. Так характерная энергия  $E$ , обеспечивающая целостность каждого структурного уровня вдоль этой последовательности, монотонно убывает, в то время как число  $N$  устойчивых типов, представляющих последовательные уровни, наоборот возрастает (см. таблицу).

Параметр	Структурный уровень				
	ЭЧ	Я	А	М	Ж
$N_s$	$10^1$	$10^2$	$10^3$	$10^3-10^4$	$10^5-10^6$
$E, \text{эВ}$	$10^9$	$10^7$	$10^1-10^3$	1	$\leq 10^{-1}$

Итак, есть все основания рассматривать данный процесс как прогрессивную эволюцию, которая осуществляется в результате естественного отбора наиболее устойчивых и способных к дальнейшему объединению частиц в изменяющихся внешних условиях.

Совместить этот вывод с точкой зрения Моно об уникальном характере биологической эволюции — значит предположить, что наша цивилизация явилась результатом двух прогрессивных эволюционных процессов, никак не связанных друг с другом. Такой подход представляется искусственным, поскольку по всем перечисленным выше параметрам живое вещество (столбец Ж) непрерывно продолжает эволюционный ряд ЭЧ—Я—А—М.

В самом деле, составляющие вещественную основу живой клетки и обеспечивающие ее функционирование и размножение макромолекулы белков и нуклеиновых кислот являются полимерами более простых молекул (аминокислот, азотистых оснований), равных по сложности тем, которые обнаружены в космических объектах (межзвездных облаках, метеоритах). Полимеры представляют собой следующую после соответствующих молекул-мономеров иерархическую структуру и, следовательно, следующую, более высокую ступень сложности.

Число различных функциональных макромолекул в клетках ( $\sim 10^5$ ) значительно больше числа разновидностей молекул, найденных и ожидаемых в космических объектах ( $\leq 10^3-10^4$ ), число сосуществующих биологических видов еще на порядок больше, а число (неповторимых!) индивидов больше на несколько порядков. Таким образом, общей закономерностью всей эволюционной последовательности от элементарных частиц до биологических популяций является ее дивергентный характер — с ростом сложности систем возрастает разнообразие их типов. (Кстати, считая появление цивилизации закономерным итогом рассмотренной эволюционной последовательности и экстраполируя ряд значений  $N$ , можно прийти к выводу, что вероятное число типов цивилизаций во Вселенной очень велико —  $\geq 10^6$ ; однако, что следует понимать под типом цивилизации и в какой мере различия типов существенны для установления межцивилизационных контактов — пока совершенно неясно.)

Жизнь естественно продолжает предшествующий эволюционный ряд и по характерному значению энергии связи: энергия невалентных связей, обеспечивающих достаточную устойчивость и в то же время оперативную перестройку третичной структуры макромолекул (что в конечном счете определяет все важнейшие процессы жизнедеятельности и размножения клеток), на порядок меньше энергии связи молекул-мономеров.

Итак, вопреки Моно, есть все основания считать, что линия прогрессивной эволюции осуществляется в масштабах всей Вселенной, а не только на одной, затерявшейся в ее просторах планете; началась эта эволюция не с появления жизни на Земле, а значительно раньше — по крайней мере с момента Большого взрыва и нет оснований подозревать, что она прекратится, когда прекратится биологическая эволюция. Естественно предположить, что существует некоторый общий закон, которому под-

чиняется процесс прогрессивной эволюции. Существование такого закона предположил еще четверть века назад академик Г.И. Наан [5]. Важность открытия общего закона эволюции и для естествознания, и для социологии, и для проблемы SETI очевидна. Закон этот пока не открыт. Отметим некоторые частные успехи в данном направлении, достигнутые за последнюю четверть века.

Заложены основы эволюционной химии, проливающие свет на этап прогрессивной эволюции вещества, непосредственно предшествовавший возникновению жизни [6, 7]. Показано, что уже на этом этапе действует дарвиновский естественный отбор циклов химических реакций.

Мощное развитие получила количественная теория самоорганизации в сильно неравновесных открытых системах [8, 9]. Эта теория дает объяснение некоторых частных явлений развития в неживой и живой природе. Пока неясно, в какой мере методы термодинамики сильно неравновесных систем могут быть использованы для более глубокого понимания процессов структурной эволюции вещества в космических масштабах. Здесь усложнение вещества часто происходит в квазиравновесных, медленно протекающих процессах, а фиксация вновь образовавшегося вещества как материала будущей эволюции осуществляется в результате сравнительно быстрых изменений внешних условий (так называемая "закалка" состава).

В теории биологической эволюции все более выявляется недостаточность структурной информации как параметра, монотонное возрастание которого описывало бы эволюционный процесс. На смену ему приходит параметр "ценности" информации, учитывающий качественный аспект информации, ее ценность с точки зрения определенной цели (например, выживаемости вида в изменившихся внешних условиях) [10]. Представляется интересным исследовать возможность приложения концепции "ценности" информации и к процессам добиологической эволюции (вернее, дохимической — плодотворность этой концепции при описании химической эволюции уже доказана работами М. Эйгена [6]). Очевидным недостатком концепции "ценности" является ее узкая "специализация", вряд ли один и тот же параметр ценности можно будет использовать как универсальный критерий для всех этапов прогрессивной эволюции.

Представляется разумным поиск закона эволюции в виде некоторого вариационного принципа. Имеющиеся на сегодняшний день попытки вариационных формулировок закона биологической эволюции (например, [11, 12]) находятся на уровне плохо обоснованных догадок.

Исследования процессов самоорганизации вскрыли их важную общую черту: для развития системы, появления и накопления в ней новой информации необходимо сочетание в ее поведении элементов случайного (стохастического) и необходимого (динамического). По удачному определению Г. Кастлера [13], новая информация есть "запоминание случайного выбора". Можно предположить, что относительная роль стохастического и динамического в процессе прогрессивной эволюции закономерно изменяется. Так, в ряде работ получила развитие высказанная еще в 20-х годах Н.И. Вавиловым идея о внутренней направленности, "канализованности" биологической эволюции [14]. Показано, что по мере усложнения организмов степень внутренней направленности (т.е. относительная роль необходимости), по-видимому, возрастает.

Обращаясь к этапам добиологической эволюции, можно пока что высказать лишь некоторые интуитивные соображения об изменениях относительной роли случайного и необходимого. Если будущий общий закон прогрессивной эволюции установит точный характер изменения этой про-

порции в ходе эволюции, общество получит еще один инструмент для научного прогнозирования своего развития. Экстраполируя закономерности прошлых этапов эволюции, оно сможет выбрать путь оптимального сочетания Случая и Закона, которое обеспечит наиболее быстрый прогресс и позволит избежать как риска гибели человечества в результате слепой случайности, так и его деградации в результате плохо понятой необходимости.

Чтобы обоснованно прогнозировать свое будущее и судить о возможных путях развития других цивилизаций, мы должны в первую очередь изучить свою историю. Чем больший отрезок этой истории мы охватим, тем надежнее будет экстраполяция. Основная мысль этого сообщения заключается в том, что мы несем в себе историю не только биологической эволюции, но более общей и более длительной структурной эволюции вещества в расширяющейся Вселенной от момента ее возникновения. Поиск закономерностей, движущих сил и тенденций этого космического процесса означает максимально широкий подход к вопросу о смысле нашего существования и о нашем вероятном будущем.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. *Monod J.* Le hasard et la nécessité. P.: Edition du Seuil, 1970.
2. Hierarchy theory. Ed. Pattee H. N.Y.: Braziller, 1973.
3. *Кастл Дж.* Большие системы: связность, сложность и катастрофы. М.: Мир, 1982. 216 с.
4. *Sanal D.* — Cybernetica, 1976, vol. 19, N 1, p. 5—38.
5. *Наан Г.И.* — В кн.: Философские проблемы современного естествознания. М.: Изд-во АН СССР, 1959, с. 420.
6. *Эйген М.* Самоорганизация материи и эволюция биологических макромолекул. М.: Мир, 1973.
7. *Руденко А.П.* Теория саморазвития открытых каталитических систем. М.: Изд-во МГУ, 1969.
8. *Николис Г., Пригожин И.* Самоорганизация в неравновесных системах. М.: Мир, 1979.
9. *Хакен Г.* Синергетика. М.: Мир, 1980. 404 с.
10. *Волькенштейн М.В.* Общая биофизика. М.: Наука, 1978. 590 с.
11. *Тарасов Е.К.* — Химия и жизнь, 1981, № 2, с. 57—65.
12. *Моисеев Н.Н.* — Химия и жизнь, 1981, № 7, с. 23—27.
13. *Кастлер Г.* Возникновение биологической организации. М.: Мир, 1967.
14. *Воронцов А.Н.* — ЖВХО, 1980, т. 25, № 3, с. 295—314.

УДК 100.27+523.07

*В.В. Казютинский*

### ОБЩИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ ЭВОЛЮЦИИ И ПРОБЛЕМА ВНЕЗЕМНЫХ ЦИВИЛИЗАЦИЙ

Современная наука выявляет глубокую взаимосвязь между целостными свойствами нашей эволюционирующей Вселенной, т.е. Метагалактики, и возникновением условий, в которых стало возможным существование человечества. Одним из конкретных проявлений этой взаимосвязи является антропологический (или антропный) принцип. Этот принцип был выдвинут в 50—60-е годы советскими астрономами А.Л. Зельмановым [1, 2] и Г.М. Идлисом [3—5], а затем пережил как бы "второе рождение" в известных работах Р. Дикке, Б. Картера, Дж. Уилера и других, опубликованных позднее. В самом деле, сравним, например, формулиров-

ки антропного принципа, предложенные А.Л. Зельмановым и Б. Картером. А.Л. Зельманов еще в 1955 г. отметил связь между такой особенностью окружающей нас Вселенной, как наличие условий, допускающих развитие жизни, разума, космических цивилизаций, и иными ее особенностями, — прежде всего достаточно быстрым и длительным расширением. Позднее, в 1965 г., А.Л. Зельманов говорил: "В области космических, а тем более космологических масштабов сама возможность существования субъекта, изучающего Вселенную, определяется свойствами изучаемого объекта... Мы являемся свидетелями процессов определенного типа потому, что процессы другого типа протекают без свидетелей" [1]. По своему смыслу приведенная формулировка тождественна той, которую позднее Б. Картер назвал "слабым" антропологическим принципом: "то, что мы ожидаем наблюдать, должно быть ограничено условиями нашего существования как наблюдателей" [6]. Развитие этого положения позволило Картеру выдвинуть "сильный" антропологический принцип, согласно которому "Вселенная должна быть такой, чтобы в ней на некотором этапе допускаясь существование наблюдателей" [6, с. 373].

Содержание антропного принципа — при всей его кажущейся ясности, даже тривиальности — ставит ряд вопросов, в том числе в плане проблемы внеземных цивилизаций (ВЦ). Вот некоторые из них.

Наблюдаемая Вселенная, о которой идет речь в антропологическом принципе — это часть Метагалактики, ограниченная возможностями имеющихся в данный момент средств исследования, а в принципиальном отношении — "космологическими горизонтами", но что представляет собой Метагалактика как целостная система, свойства которой обусловили в конечном счете возможность появления нашей цивилизации?

Этот вопрос (в интересующем нас аспекте) решается тремя основными путями: а) Метагалактика — это Вселенная, как уникальная и всеобъемлющая физическая система, иными словами, "тотальность всех вещей" или "все существующее" в каком-то абсолютном смысле (точка зрения большинства космологов); б) Метагалактика — только ограниченная часть Вселенной в указанном смысле (точка зрения А.Л. Зельманова); в) Метагалактика входит в "ансамбль" миров или вселенных, каждая из которых не является ни уникальной, ни всеобъемлющей (точка зрения Б. Картера, Дж. Уилера и др.). Тем самым в антропный принцип может вкладываться весьма неодинаковый смысл: если с позиций первой точки зрения возможность появления человечества была обусловлена ни более ни менее как глобальными свойствами "всего существующего", то вторая и третья связывают ее со свойствами лишь одной из локальных областей мирового целого. Соответственно различным оказывается и значение антропного принципа.

Нами уже давно разрабатывается подход, согласно которому Вселенная, как объект космологии, — это все существующее не в абсолютном смысле, а лишь применительно к определенному этапу познания, более конкретно — в концептуальных рамках данной космологической теории или модели [7, 8]. Сегодня объектом космологии является фактически наша Вселенная, Метагалактика, завтра могут быть не только предсказаны, но и открыты другие метагалактики — и напоминающие нашу по своим свойствам, и качественно отличные от нее — все они будут включаться в сферу космологического исследования. Это означает, что понятие Вселенной как целого, релятивизируется, поскольку оно фиксирует лишь достигнутый предел изучения мегамира, переходящую границу познания. Данный подход, естественно, увязывается с духом концепции "ансамблей" вселенных и вытекающим из нее пониманием антропного принципа.

Далее, если считать наиболее существенной чертой антропоного принципа представление об узости пределов возможных изменений фундаментальных констант и ряда глобальных свойств Вселенной, при которых, по-видимому, в ней могли возникнуть условия для форм жизни, напоминающих земные и в конечном счете возникновения антропоморфных цивилизаций, то не следует ли отсюда вывод: в нашей Вселенной возможно существование исключительно антропоморфных цивилизаций? Иными словами, не позволяет ли изложенная интерпретация антропоного принципа исключить возможность существования в нашей Вселенной, т.е. Метагалактике, — в силу ее целостных свойств — того многообразия форм жизни, разума, космических цивилизаций, как антропоморфных, так и неантропоморфных, на котором настаивал, например, С. Лем [9]. Нельзя ли считать, что содержание этого принципа связано с концепцией так называемого "шовинизма" земной жизни, имеющей, как известно, весьма много сторонников? Подобное истолкование сущности антропоного принципа может показаться слишком узким, во всяком случае оно не единственно возможное.

В частности И.Д. Новиковым и его соавторами предложено иное, по нашему мнению, более широкое понимание этого принципа. Акцент в нем сделан на возникновении предпосылок для прогрессивного развития вообще, безотносительно к его конкретным формам: если бы физические константы оказались иными, не было бы возможного образования достаточно сложных материальных структур, в том числе любых (а не только антропоморфных) форм жизни. По нашему мнению, анализ обеих приведенных интерпретаций антропоного принципа представляет интерес и поможет глубже понять его содержание.

Антропоный принцип накладывает определенные ограничения на целостные свойства нашей Вселенной или Метагалактики, вытекающие из факта существования человечества, но природы, т.е. глубинных причин этих ограничений, отнюдь не объясняет. Именно эта проблема и является, на наш взгляд, ключевой для понимания подлинного смысла антропоного принципа, а в более широком плане — всей проблемы ВЦ. Дж. Уилер, поясняя предлагаемое им решение этой проблемы спрашивает: "А не замешан ли человек в проектировании Вселенной более радикальным образом, чем мы думали до сих пор?" [10, с. 368]. Свою мысль он конкретизирует, в частности, следующими словами: "...является ли Вселенная... своего рода "самовозбуждающимся контуром"? Порождая на некотором ограниченном этапе своего существования наблюдателей — участников, не приобретает ли в свою очередь Вселенная посредством их наблюдений ту осязаемость, которую мы называем реальностью?" [11, с. 555]. И далее: "Не порождают ли каким-то образом миллиарды наблюдений, как попало собранных вместе, гигантскую Вселенную со всеми ее величественными закономерностями?" [11, с. 556]. Но на самом деле именно изучение эволюции Вселенной и протекающих в ней процессов с еще большей убедительностью, чем в любой другой области естествознания, доказывает, что природа существовала до человека и что именно объективные свойства нашей эволюционирующей Вселенной создали возможность для таких коренных качественных скачков, как появление жизни, разума, космических цивилизаций. Таким образом, цитированные высказывания о возможности участия человека в "проектировании Вселенной" с наблюдаемыми свойствами нельзя признать удачными. Другое дело, что способы отражения объективных свойств нашей Вселенной в системе знания существенно зависят от биологической организации познающего субъекта, уровня развития его социально-практической и познава-

тельной деятельности. И если это верно, то ответ на вопрос: "Почему Вселенная такова, какой мы ее наблюдаем?", содержащийся в антропоном принципе, отнюдь не исчерпывает сути дела. Простая ссылка на существование познающего субъекта оказывается далеко не достаточной. Вселенная оказывается такой, какой мы ее наблюдаем, не только в силу присутствия ей объективных свойств, но также потому, что "образы" Вселенной на разных этапах развития науки формируются в контексте всей системы практической и познавательной деятельности человечества.

По нашему мнению, одним из перспективных путей решения обсуждаемой проблемы могут стать попытки поиска некоторых общих законов и закономерностей эволюционных процессов, которые охватывают все основные их этапы — от сингулярности до появления человека. Проявляясь так или иначе через специфические законы и закономерности эволюции, характерные для различных структурных уровней природы, они и обеспечивают преемственность эволюционного процесса в целом.

Решение этой проблемы, очевидно, немаловажно для обсуждения всего комплекса проблем ВЦ. Оно неизбежно будет накладывать заметный отпечаток на понимание сущности качественных скачков, какими явилось возникновение жизни и разума на Земле и, возможно, в других местах нашей Вселенной. Если бы оказалось, что подобных эволюционных законов не существует, больший вес приобрела бы концепция, согласно которой возникновение жизни во Вселенной было чем-то абсолютно случайным, и в конечном счете получила бы сильные аргументы в свою пользу концепция практической уникальности нашей цивилизации, развивавшаяся, например, И.С. Шкловским. Напротив, обнаружение подобных законов лишило бы концепцию случайного возникновения жизни сколь угодно серьезного доверия.

Хотя указанная проблема в настоящее время еще далека от решения, все же есть определенные основания допускать существование в природе законов и закономерностей прогрессивного развития, которые охватывают все основные этапы — космогонический, геологический, биологический, проявляясь через специфические законы и закономерности, присущие каждому из них. Это могут быть, во-первых, частнонаучные законы или закономерности, которые оказывается возможным экстраполировать на целостные процессы эволюции природной действительности, — скажем, закон возрастания энтропии или определенные "биоанalogии", имеющие достаточно общее значение. Основные черты биологической эволюции (наследственная передача свойств и закрепление свойств естественным отбором) при всем своем своеобразии могут иметь какие-то отдаленные прообразы и в космологических процессах. Их обнаружение и включение в концептуальные основания науки будет содействовать выработке единого понимания развития неживого и живого. Во-вторых, начавшаяся за последние годы разработка общей теории систем в ее генетических аспектах позволяет предполагать, что некоторые из сформулированных в ее рамках эволюционных законов и закономерностей могут иметь весьма широкую сферу применимости, в частности, охватывать определенные черты эволюции всей исследуемой природной действительности. Наконец, возможно предположить, что существуют такие типы достаточно общих эволюционных законов и закономерностей, которые будут сформулированы на основе комплексного анализа процессов развития в пределах всей системы наук о природе. Пока, конечно, преждевременно обсуждать вопрос, будут ли эти законы и закономерности, сформулированные первоначально в рамках общенаучной картины мира, включаться далее в такую форму организации теоретического знания, какой является

теория (система теорий), или в иную, мало исследованную пока форму междисциплинарного и общенаучного знания — учение (примером которой может служить учение В.И. Вернадского о биосфере), или же, наконец, окажется возможным сформулировать законы, которые будут входить в состав систем теорий и в состав учений разной степени общности.

Один из аргументов, которые могут свидетельствовать о существовании общих эволюционных законов рассматриваемого типа, состоит в следующем. Поставим вопрос: было или нет возникновение нашей и, возможно, других космических цивилизаций "запрограммировано" или "закодировано" уже в состоянии, с которого началась изучаемая нами эволюция Метагалактики, или же этот процесс был обусловлен лишь законами ее дальнейшей эволюции? На этот вопрос возможны три ответа, основанные на различном отношении к принципу редукционизма (рассматриваемому в эволюционном плане).

Допустимо, во-первых, предположить, что если биологические и даже общие законы могут быть в конечном счете "редуцированы" к физическим (или, что в данном случае не имеет особого значения, "выведены" из них), то и эволюционные законы и закономерности потенциально содержались (т.е. были как бы "закодированы") в начальном сверхплотном состоянии. В подобном представлении содержится определенное рациональное зерно. Некоторые фундаментальные черты эволюции всей нашей Вселенной (Метагалактики), несомненно, должны предопределяться свойствами ее начального состояния. Но все же в целом точка зрения, сводящая законы прогрессивного развития к чисто физическим законам (или, напротив, выводящая их из последних), неудовлетворительна; она представляется каким-то генетическим "суперредукционизмом" или "суперпреформизмом".

Согласно другой возможной точке зрения, жизнь и разум — следствие закономерностей, которые в начальном состоянии Метагалактики не содержались, а возникли в ходе дальнейшей эволюции. Недостаток ее в том, что жизнь и разум лишаются своей фундаментальности.

Таким образом, обе изложенные точки зрения оказываются односторонними и не могут быть приняты. Неубедительным оказывается исходный пункт их обеих — предположение об отсутствии общих законов и закономерностей эволюционных процессов в природе.

На допущении, что подобные законы и закономерности существуют, основывается третья точка зрения, согласно которой возникновение жизни и разума в Метагалактике (и, в частности, на Земле) выступает как проявление общих эволюционных законов, определяющих целостные черты исследуемых наукой процессов прогрессивного развития. Эти же законы определяют некоторые целостные черты эволюционных процессов в Метагалактике и на современном этапе ее развития. Именно в этом плане получает наиболее сильное естественнонаучное обоснование мировоззренческий тезис об антропологической направленности эволюции природы [12]. Появление человеческого общества выступает тем самым качественным скачком в общем процессе космической эволюции.

Поскольку начальная сингулярность в эволюции Метагалактики может в принципе выступать не как абсолютное "начало всего", а лишь как одна из сменяющих друг друга фаз бесконечного процесса саморазвития материальных форм, причем этот процесс носит закономерный характер, — не вызывает никаких особых трудностей или недоумений концепция, согласно которой эти более общие законы, характеризующие целостные аспекты эволюционного процесса, проявляясь через физические, могли обусловить существование в сверхплотном начальном состоянии многих

из потенций дальнейшей эволюции (в том числе возникновения жизни, разума, космических цивилизаций), хотя их актуализация определяется, конечно, действием стохастических механизмов.

Но тогда в самом деле отпадает необходимость в доверии к представлениям, рассматривающим возникновение жизни на Земле, а следовательно, в конечном счете и появление нашей, земной цивилизации как некое "чудо", оказавшееся возможным вследствие чрезвычайно маловероятного стечения благоприятных обстоятельств. Современный этап процесса науки буквально вынуждает рассматривать этот гигантский качественный скачок в развитии Вселенной как нечто необходимое и закономерное, хотя, возможно, сравнительно редкое. Видимость "чуда" в данном случае возникает, на наш взгляд, лишь потому, что нам пока неизвестны эволюционные законы, которые с неизбежностью должны приводить к возникновению жизни при определенных условиях. Иными словами, "чудо" в данном случае отражает лишь меру нашего незнания, т.е. имеет скорее гносеологическую природу.

Кроме того, существование общих эволюционных законов могло бы объяснить известное противоречие между принципиальной предсказуемостью процессов космической эволюции и одним из постулатов синтетической теории эволюции в биологии, согласно которому эволюция живого признается непредсказуемой. Несмотря на то что многие эволюционные процессы, изучаемые астрономией, например эволюция звездных скоплений, носят вероятностный характер, они могут быть достаточно адекватно описаны на языке законов статистической физики. Но, как считают многие биологи, в науке о жизни ситуация иная (мы не касаемся здесь концепции номогенеза); в любом случае, однако, кажется привлекательной возможность представить законы космогонической и биологической эволюции как частные случаи более общих эволюционных законов.

Обсуждая проблему множественности космических цивилизаций во Вселенной, мы до сих пор имели в виду во всех случаях нашу Вселенную, т.е. Метагалактику. Но допущение о существовании других метагалактик или вселенных, которые образуют взаимодействующие "ансамбли вселенных", приводит к возможности дальнейшего обобщения постановки этой проблемы. Если наша Вселенная — не всеохватывающее мировое целое, а лишь одна из бесконечного множества квазизамкнутых эволюционирующих систем, то, очевидно, уже нельзя утверждать, что ее эволюция, включая процессы возникновения космических цивилизаций, определяется только и всецело внутренними факторами. Должны быть учтены и факторы внешние, обусловленные взаимодействием нашей и других вселенных. Тем самым напрашивается определенное обобщение антропного принципа.

С этих позиций существование общих законов, обеспечивающих единство и преемственность эволюционных процессов в масштабах "ансамблей вселенных", представляется еще более вероятным. Именно эти законы, как можно полагать, и актуализируют заложенные в фундаменте материи возможности прогрессивного развития, которые реализуются как в нашей, так и в других вселенных. Космические цивилизации должны, следовательно, возникать закономерно (имеется в виду, естественно, закономерность вероятностного, статистического характера), хотя и довольно редко. Вот почему представляется более предпочтительной идея множественности многообразных форм жизни, разума, космических цивилизаций, развивающихся в бесконечном множестве вселенных, которую можно рассматривать как определенное обобщение идей Дж. Бруно на основе наших современных знаний.

1. Зельманов А.Л. — В кн.: Труды второго съезда Всесоюзного астрономо-геодезического общества. М.: Наука, 1960. с. 77.
2. Зельманов А.Л. — В кн.: Диалектика и современное естествознание. М.: Наука, 1970, с. 395—400.
3. Идлис Г.М. — В кн.: Труды шестого совещания по вопросам космогонии. М.: Наука, 1959, с. 270—271.
4. Идлис Г.М. — Изв. астрофиз. ин-та АН КазССР, 1958, т. 7, с. 39—54.
5. Идлис Г.М. — Природа, 1978, № 4, с. 74—81.
6. Картер Б. — В кн.: Космология. Теории и наблюдения. М.: Мир, 1978, с. 369—379.
7. Казютинский В.В. — В кн.: Бесконечность и Вселенная. М.: Наука, 1969, с. 116—126.
8. Казютинский В.В. — В кн.: Философия и мировоззренческие проблемы современной науки. М.: Наука, 1981, с. 49—96.
9. Лем С. Сумма технологий. М.: Мир, 1968. 608 с.
10. Космология. Теории и наблюдения. М.: Мир, 1978. 466 с.
11. Уилер Дж. — В кн.: Астрофизика, кванты и теория относительности. М.: Мир, 1982, с. 505—558.
12. Иванов В.П. — В кн.: Человек и мир человека. Киев: Наук. думка, 1977, с. 29—98.

УДК 576.1

Б.Н. Пановкин

## ПРИНЦИПЫ САМООРГАНИЗАЦИИ И ПРОБЛЕМА ПРОИСХОЖДЕНИЯ ЖИЗНИ ВО ВСЕЛЕННОЙ\*

Я хотел бы начать с небольшого парадокса: то, о чем ниже пойдет речь, не имеет отношения к биологии, но имеет отношение к проблеме происхождения жизни.

Решение вопроса о существовании внеземных форм жизни традиционно связывается с успехом реконструкции некоторого конкретного механизма возникновения жизни на Земле и экстраполяции этого механизма на другие подходящие места в астрономической Вселенной. Иначе говоря, в этой концепции, которую я назову условно "классической", решение проблемы связывается с нахождением некой траектории физико-химических процессов, которая привела к созданию живой клетки — началу того, что мы именуем "жизнью". Окружающая среда рассматривается при этом как нечто, отделенное от самого живого организма, нечто, ему противопоставленное и абсолютно объективное во всех своих свойствах. Среда предполагается наличной со всеми ее свойствами до появления организма. Более того, считается, что она стимулирует и в конечном счете определяет своими начальными свойствами саму возможность протекания физико-химических процессов по той траектории, которая приводит к возникновению жизни. Эта концепция кажется полностью согласованной как со здравым смыслом, так и с основными принципами естественнонаучного подхода.

Отмечу сразу же одну методологическую трудность, с которой сталкивается классическая концепция, когда мы пытаемся совместить ее с антропным принципом, рассмотренным И.Д. Новиковым и др. (см. с. 36 наст. сб.).

\*Борис Николаевич Пановкин — известный советский астроном, один из первых энтузиастов и один из наиболее глубоких знатоков и серьезных исследователей проблемы SETI скончался 17 апреля 1983 г. Мы помещаем один из его докладов, восстановленный по магнитофонной записи и по представленным в оргкомитет тезисам. (Примеч. сост.)

Согласно антропному принципу, между параметрами жизни и космологическими параметрами, параметрами Большой Вселенной существует глубокая и жесткая взаимосвязь: достаточно ничтожного изменения физических параметров Вселенной и жизнь становится совершенно невозможной. Но тогда, при классическом подходе к происхождению жизни, мы вынуждены предположить одно из двух: либо что жизнь во Вселенной возникла совершенно случайно, как результат крайне маловероятного стечения обстоятельств, либо что соответствующая форма жизни была как бы запрограммирована в предыдущем состоянии материи, что имеет уже теологический привкус. В свете антропного принципа попытки поиска неких общих законов эволюции (см., например, ст. В.В. Казютинского) оказываются в конечном счете поиском того "предпрограммирования", которое могло бы детерминированным образом объяснить удивительную согласованность параметров жизни с параметрами Вселенной.

Классической методологической концепции происхождения жизни может быть противопоставлена альтернативная методологическая концепция, основанная на функциональном (кибернетическом) подходе, при котором решение проблемы существования живых и разумных систем связывается с выявлением общих характеристик генезиса и функционирования высокоорганизованных систем в материальном мире, независимо от их конкретного устройства. При таком подходе используются некоторые общенаучные понятия, важнейшим из которых является понятие *самоорганизации*.

Следует отметить, что понятие самоорганизующейся системы не вполне однозначно. В технической кибернетике, например, под такими системами понимаются (пока еще не реализованные) самовоспроизводящиеся автоматы. Другое применение этого понятия — к реально существующим системам: мозг как совокупность нейронов, живые организмы и их популяции, экономические и социальные системы. Приведу одно из возможных определений самоорганизующейся системы, которое мне представляется весьма глубоким: "Самоорганизующаяся система — это система управления, т.е. система, способная постоянно поддерживать свою качественную определенность, осуществлять целенаправленное, программное функционирование и саморазвитие, самосовершенствование (в плане видоизменения своих программ и способов функционирования)" [1]. В этом определении самоорганизующейся системы предполагается наличие информации, целеполагания, обратных связей и самоуправления, и это исключает из категории самоорганизующихся такие, например, системы, как кристаллы, способные к самовоспроизведению, но не обладающие перечисленными выше другими необходимыми сложными качествами.

Важным свойством самоорганизующихся систем является активный характер их взаимодействия с окружающей средой. Из всего континуума внешних воздействий такая система выбирает в виде "сигналов" лишь те, которые имеют для нее значение, относя все остальное к "фону помех", или, говоря философским языком, она осуществляет активное расчленение материальной среды (см., например [2]). Таким образом, уже самим фактом своего существования самоорганизующаяся система активно воздействует на окружающую среду, в определенном смысле она как бы сама создает для себя среду, выделяя те или иные ее конкретные свойства и изменяя их в направлении, которое обеспечивает наилучшее функционирование системы. Имея в виду эту активность самоорганизующихся систем, Эшби указывал, что такие системы вообще не могут рассматриваться в каком-либо смысле изолированно от окружающей среды. Система организм—среда должна рассматриваться как целостное единство, образо-



ванное согласованным взаимодействием "самой" системы и "внешнего мира".

Эшби рассмотрел также вопрос о закономерностях возникновения самоорганизации. Он показал, что при наличии достаточного разнообразия и некоторого постоянства динамических закономерностей среды самоорганизация возникает в ней с неизбежностью. Таким образом, процесс самоорганизации является закономерным, внутренне присущим материальному миру, и, по-видимому, он проявляется в самых разнообразных формах.

Возвращаясь к положению Эшби о целостном единстве организма и среды, я хотел бы напомнить, что еще в 1970 г. Б.Г. Юдин совершенно правильно подметил логическую неизбежность вывода о том, что средой, которая согласована с самоорганизующейся системой, должна быть фактически вся конкретная форма существования материального мира во всех ее проявлениях. В случае земной самоорганизации — это вся астрономическая Вселенная. Здесь очевидна связь с антропным принципом.

Если встать на точку зрения о неразрывном, целостном единстве организма и среды, то можно обосновать и еще один подход к самоорганизации, а именно: *представление о глобальности акта самоорганизации*. В этом подходе (подробнее см. в [3]) акт самоорганизации — это не какая-то конечная конкретная реализация в готовой среде разнообразных организмов, приспособленных к ней, а нечто большее — это акт глобального одновременного вычленения из материального континуума и самой среды, и организма, который к ней приспособлен. Материальный мир представляет собой так называемую бесконечную систему. По аналогии со свойствами математических бесконечных систем можно выявить некоторые необходимые свойства реальных бесконечных систем. Известно, что бесконечная система существует противоречиво: в ней имеются некоторые конечные части, при этом конечное и бесконечное диалектически взаимосвязаны. Но и само существование конечных частей бесконечной системы внутренне противоречиво, они, в некотором смысле, присутствуют в бесконечной системе лишь потенциально. Согласно общему определению, материальный мир представляет собой бесконечное взаимодействие. Но раз все взаимосвязано, то ничего отдельного, конкретного в принципе нельзя выделить, оно присутствует лишь потенциально. Для того чтобы выделилось это конкретное, или, как говорят философы, единичное, отдельное, нужен некоторый выделитель, некоторая координатная система. Такой координатной системой и становится самоорганизация. Благодаря акту самоорганизации актуализируется соответствующий конкретный мир вместе с согласованным с ним субъектом. Таким образом, говорить о конкретных формах существования материальной среды безотносительно к субъекту — бессмысленно. Акт возникновения жизни с этой точки зрения представляет собой нечто более глобальное, чем простое проявление самоорганизующейся системы, он представляет собой и акт вычленения из бесконечной системы конкретного мира. К каждой самоорганизующейся системе приспособлен свой мир.

Эта концепция, конечно, льет воду на мельницу уникальности жизни во Вселенной. С таких позиций обычная аргументация — раз наша жизнь существует на одной из многих планет, то почему бы не быть жизни и на других планетах — выглядит довольно наивной. Среда есть некая картина мира, которая определяется субъектом в его познании. И в этом смысле как без объекта нет субъекта, так и без субъекта нет объекта. "Миры без наблюдателя" (А.Л. Зельманов) существуют лишь потенциально, актуально они могут существовать только при наличии субъекта.

Резюмирую сказанное выше.

1. Появление высокоорганизованных систем — всеобщий и закономерный процесс в материальном мире.

2. Конкретные формы самоорганизации являются случайными реализациями этого всеобщего процесса.

3. Акт самоорганизации обусловлен внутренней активностью материальных процессов, а не односторонне детерминируется противопологаемой средой "самой по себе".

4. Акт самоорганизации является одновременно и актом актуализации, вычленения конкретной материальной среды — "мира" данной самоорганизующейся системы — из бесконечной системы "всего" материального мира.

5. В рамках данной концепции земная самоорганизация — это конкретная случайная реализация и ее повторение (т.е. воспроизведение целостной системы самоорганизация—среда) может иметь лишь ничтожную вероятность, что и делает правдоподобным предположение об единственности земной формы жизни и разума в астрономической Вселенной.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Дубровский Д.И. Информация, сознание, мозг. М.: Высш. шк., 1980, с. 97.
2. Украинцев Б.С. Самоуправляемые системы и причинность. М.: Знание, 1972, с. 72.
3. Пановкин Б.Н. Объективность знания и проблема обмена смысловой информацией с внеземными цивилизациями. — В кн.: Философские проблемы астрономии XX века. М.: Наука, 1976, с. 240—265.

УДК 129:008/524.8

А.Д. Урсул

### ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАЗВИТИЯ И ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ВНЕЗЕМНЫХ ЦИВИЛИЗАЦИЙ (социально-философские гипотезы)

В последние годы значительное внимание уделяется проблеме внеземных цивилизаций (ВЦ) в работах ученых-астрономов, кибернетиков, биологов, лингвистов, юристов, социологов и философов. Нужно отметить, что если ранее проблема ВЦ носила главным образом философско-мировоззренческий характер, то ныне центр тяжести сместился в область специально-научных исследований. Однако в их ходе специалисты встречаются с проблемами, имеющими фундаментальный и весьма общий характер, решить которые в принципе оказывается невозможным без помощи философов. Это налагает особую ответственность на социально-философское обеспечение разработок проблемы ВЦ, которое конечно не может быть таким же наивно-умозрительным, как, скажем, во времена Дж. Бруно.

С тех пор произошли кардинальные изменения в философии, а именно: появилась и существенно развилась марксистско-ленинская философия, возникли благодаря этому адекватные наиболее общие представления о Вселенной и человечестве, их развитии. А между тем специалисты в области проблемы ВЦ мало, либо вообще не используют достижений в области исторического материализма для позитивного сдвига проблемы. Ныне превалирует сциентистско-технистский подход, и основное внимание уделяется астрономическим (вообще естественнонаучным) условиям

возможного существования ВЦ либо техническим аспектам связи с ними. Быть может, обостряя ситуацию, мы можем сказать, что техницистско-естественнонаучное направление исследований в настоящее время явно превалирует над социально-философской проблематикой ВЦ, во всяком случае не находится с ней в органическом единстве. Но и в социально-философской проблематике, как нам кажется, недостаточно проводится материалистический подход (мы имеем в виду прежде всего с позиций исторического материализма) и создается впечатление, что исследуется не социальная форма движения материи, не возможные ее внеземные представители, а какой-то естественно-технический процесс в космосе, вроде необычной звезды или галактики.

Все это свидетельствует о том, что философам, и особенно социальным философам, открывается широкое поле деятельности, ибо картина исследований в области ВЦ в какой-то мере напоминает ситуацию в области исследований исторического процесса до работ К. Маркса. Материальные основы ВЦ, роль экономических факторов в цивилизационных процессах во Вселенной, если не игнорируются начисто, то не выдвигаются на должное место.

Наиболее актуальной задачей в настоящее время является более широкое использование возможностей исторического материализма, того социально-философского потенциала, который накоплен к настоящему времени в марксистской теории. Необходимо распространить возможные инвариантные положения марксистской теории исторического процесса на проблему развития ВЦ и их закономерностей, связей и взаимодействий между ними. Короче говоря, необходимо продолжить процесс космоизации науки, подключив сюда и социально-философскую проблематику, органически соединив ее с вопросами исследования ВЦ, попытаться выявить те сохраняющиеся тенденции и характеристики, которые могли бы быть общими для всех представителей социальной формы движения во Вселенной.

Именно такой методологический поворот, который осуществлен в последние годы при исследовании проблемы ВЦ, придает ей определенную актуальность. Основной смысл этого поворота, его пафос, в отличие от Дж. Бруно, Н. Коперника и даже К.Э. Циолковского, заключается не в устремлении полета философской мысли безвозвратно в космос, а в последующем ее возвращении к Земле, насущным социальным проблемам, к нашему земному человечеству. Именно исследования проблемы ВЦ, в том числе и философско-методологического характера, дают нам ценнейший, прежде всего теоретический материал, быть может, не столько для обнаружения предполагаемых ВЦ (хотя и это вполне вероятно), сколько для более глубокого познания нашего человечества, его глубинных, самых общих, инвариантных закономерностей и тенденций развития человечества, постепенно и уверенно превращающегося в космическую цивилизацию благодаря прогрессу космонавтики. Именно эта "заземленность" проблемы ВЦ, ее "антропоцентрический" и "глобальный" поворот, ориентация ее на познание прежде всего нашей цивилизации, космических перспектив социально-культурного процесса придает ей ту актуальность, ту фундаментальность и эффективность, которая столь необходима для подлинно научных, а не спекулятивных исследований.

Представление земного человечества в качестве модели гипотетических ВЦ позволяет получить некоторую вероятностную информацию о ВЦ, в свою очередь, размышления о проблеме ВЦ являются хорошим поводом для более глубокого познания цивилизационно-культурных процессов, путей и перспектив их развития, они позволяют бросить взгляд на наше

общество как бы со стороны космоса и оценить его готовность к встрече со своими собратьями по разуму, если они существуют. Вот смысл того, если можно так сказать, нового "антропоцентрического" подхода, который коренным образом отличается от его прошлого понимания и от обычного современного геоцентризма и который позволяет найти место этой проблемы в социально-философских исследованиях наших дней.

Упомянутый методологический принцип исследования проблемы ВЦ придает ей актуальность, но еще ничего не говорит о его конкретных философско-методологических инновациях. Для того чтобы их получить, воспользуемся еще несколькими важными исходными положениями.

Прежде всего — это применение "деятельностного" подхода. В последнее время многие специалисты в области теории социально-культурного процесса считают, что исходной "клеточкой", основной категорией, позволяющей развернуть всю систему общесоциологической теории, является категория деятельности. Не считая ее единственной исходной категорией, аналогичный вывод можно сделать и в отношении проблемы ВЦ, ибо именно деятельностный подход позволяет, сохраняя специфику социального, а не подменяя его абстрактным системно-кибернетическим анализом, продвинуться в проблеме ВЦ на философском уровне исследования, поставить вопрос о том, что же общего есть в характеристиках развития нашего человечества и других предполагаемых цивилизаций космоса, если проблема их существования будет решена положительно.

Думается, что именно эта ориентация на выявление общего является следующим важным принципом исследования, неразрывно связанным с предыдущими. Деятельностный принцип уже отвергает иные, грубо говоря, "неантропоморфные" представления о ВЦ, типа "плесенного" (А.Н. Колмогоров), "облачного" (Ф. Хойл) или "океанического" (С. Лем) и другие "непроизводственные", "нетехнологические" варианты. Ориентация на деятельностный подход исходит из "материально-производственного" представления о сущности социальной формы движения материи, ее отдельных космических форм и проявлений. Вместе с тем этот подход нацеливает на выделение общих черт цивилизационных процессов во Вселенной, а не особенностей, о которых мы судить не можем (по крайней мере в настоящее время).

Деятельностный принцип связан с проблемой существования ВЦ, ибо он предполагает, что если ВЦ существуют, то это существование проявляется в форме деятельности, прежде всего и главным образом производственного характера в виде астроинженерной деятельности. С позиций деятельностного подхода цивилизационный процесс во Вселенной рассматривается как дискретное проявление социальной формы движения материи, обладающее способностью адекватного рационального отображения окружающей действительности, взаимодействующее с природой в космических масштабах и стремящееся в силу социально-экономических законов к обмену своей деятельностью (в частности, к информационной связи) с другими представителями этой формы движения во Вселенной.

Выявим далее некоторую интегральную характеристику человеческого общества, предсказываемую марксистской теорией, такую, которая оказалась бы достаточно содержательной для понимания цивилизационных процессов во Вселенной. Один из таких выводов, который нами уже был использован, — это взаимосвязь в ходе исторического прогресса производительных сил и производственных отношений. На основе этого были высказаны определенные гипотезы о типах возможных взаимоотношений цивилизаций космоса [1]. Продолжая эти рассуждения, но уже в теоретико-деятельностном плане, обратим внимание на такую особенность чело-

вещеского способа взаимодействия с природой, как производство материальных благ, его эффективность.

В процессе исследования эффективности общественного производства установлено, что эффективность возрастает с переходом от низшей общественной экономической формации к более высокой [2, с. 17]. На наш взгляд, эффективность общественного производства является интегральным показателем развития той или иной общественно-экономической формации, отражающей природу способа производства общества на данной ступени ее развития. Эффективность производства или еще шире — социальной деятельности выражает степень реализации основного экономического закона данной формации и поэтому является ее сущностной инвариантной характеристикой.

Расширим это положение в космическом ракурсе и предположим, что подобные по основным социальным характеристикам и компонентам деятельности (наличию производительных сил и производственных отношений, их взаимосвязи в способе производства и т.п.) человеческой деятельности ВЦ должны тоже осуществлять свою деятельность по принципу максимума эффективности.

Обычно под эффективностью (экономической) понимают отношение результата (эффекта) деятельности к затратам общественно необходимого труда [3, с. 22]. Очевидно, что наиболее эффективной в экономическом отношении деятельности можно считать такую деятельность, которая при одних и тех же затратах ведет к получению максимального эффекта, либо когда один и тот же результат получается при минимуме затрат. Однако такое понимание эффективности, обычно развиваемое в экономической литературе, на наш взгляд, допускает расширение, которое позволит ее трактовать в более общем социально-экономическом плане как характеристику любой деятельности [4].

В общем случае можно считать, что наиболее эффективной является деятельность, которая при заданных или минимальных затратах приводит к максимальному удовлетворению потребностей. По-видимому, такое поведение общества, стремящегося к максимальной эффективности своей деятельности, является важной характеристикой социальной формы движения и связано с тем, что атрибутом этой формы является наличие сознания, разума, как высшего и наиболее рационального способа отображения бытия. Эффективность деятельности выступает как форма проявления рациональности существования и развития социальной формы движения, а рост эффективности есть вместе с тем повышение степени рациональности<sup>1</sup>.

Предполагая, что в качестве атрибута цивилизационных процессов также выступает производство материальных благ и наличие общественного сознания, мы далее будем считать также, что социально-экономическая эффективность деятельности, ее рост является одной из важных характеристик ВЦ. Под цивилизацией в этом смысле понимается проявление социальной формы движения материи, действующее по принципу макси-

мального удовлетворения потребностей и интересов всей цивилизации в целом и каждого из ее членов в отдельности при минимуме затрат.

Думается, что наряду с социально-экономической существуют и другие виды и критерии эффективности деятельности, например целевая, этическая, эстетическая, экологическая и т.п. Поскольку мы те или иные критерии эффективности связываем с удовлетворением потребностей и интересов общества и его членов, то в силу существования закона возвышения потребности может существовать и "закон возвышения критериев эффективности", согласно которому более высокоразвитая цивилизация будет руководствоваться все больше не только экономическими критериями. И все же, несмотря на эти соображения, первенство будет за ними.

Из сказанного выше следует астросоциологическая гипотеза, высказанная нами ранее [1] о том, что наиболее вероятно наше общение не с суперцивилизациями космоса, но прежде всего с ВЦ, близкими по уровню развития (эту гипотезу в дальнейшем поддержал К. Саган), для которых общение с человечеством оказалось бы эффективным в социально-экономическом плане, так же как и затраты нашей цивилизации на установление связи с ВЦ тоже дали бы эффект, существенно превышающий упомянутые затраты.

Если же контакты окажутся не эффективными, то цивилизации не станут вступать во взаимодействие (во всяком случае в определенный период времени). Не исключено также, что могут существовать различные виды взаимодействия космических цивилизаций, эффективность которых отличается, и на первый план будут выдвигаться наиболее эффективные контакты. Кажется очевидным, что информационный контакт космических цивилизаций не только проще технически, но в первое время окажется наиболее эффективным в социально-экономическом плане.

Решая вопрос о возможности вступления во взаимодействие с иными представителями социальной формы движения во Вселенной, та или иная цивилизация будет не просто исходить из наивного допущения, что такие контакты в принципе возможны и представляют интерес, а будут определять их потенциальную эффективность. Цивилизации во Вселенной тогда окажутся "контактабельными" и будут стремиться к устойчивому взаимодействию, когда с точки зрения каждой из них такое взаимодействие окажется эффективным, т.е. когда предполагаемые (колоссальные) затраты на взаимодействие приведут к таким позитивным результатам, которые в максимальной степени удовлетворяют потребности их прогрессивного развития.

В принципе контакт (информационный или непосредственный) космических цивилизаций полностью подчиняется социальной закономерности, требующей максимума социально-экономической эффективности определенного вида деятельности. В процессе контакта, с одной стороны, происходят затраты общественного труда, с другой стороны, получаются результаты, которые должны удовлетворять социальные потребности цивилизации, вступающей в контакт.

Если предположить, что потребности вступающих в контакт двух космических цивилизаций адекватно отражены в их целях, а результат контакта реализует полностью цель, то можно вывести следующие социально-экономические зависимости осуществления контакта для каждой из цивилизаций в отдельности, а именно:  $P_1 > Z_1$  и  $P_2 > Z_2$ , где  $P$  и  $Z$  — предполагаемые результаты и затраты каждой из двух контактирующих цивилизаций соответственно.

Если брать каждую цивилизацию не отдельно (т.е. не поэлементно), а в системе двухстороннего контакта, то окажется, что более заинтересо-

<sup>1</sup> Мы убеждены, что эффективность как характеристика деятельности цивилизации выступает в качестве проявления какой-то более общей закономерности, свойственной материи в целом, что выражается в науках о неживой природе так называемыми экстремальными принципами. А то, что мы называем естественным отбором в биологической эволюции, есть не что иное, как выживание наиболее эффективных форм жизнедеятельности биосистем. Само возникновение общества есть скачок в развитии "биологической эффективности", переход к новой форме повышения эффективности и развития систем, какой является "социальная эффективность". Эффективность предстает, таким образом, в широком плане как некоторая характеристика движения высших форм, ступеней развития материи.

ванной в контакте будет та из них, для которой ожидаемое отношение  $P/3$  будет больше.

Взаимная равная заинтересованность в первичном контакте зависит от равенства потенциальных мер эффективности, и контакт наиболее вероятен в том случае, если

$$P_1/3_1 = P_2/3_2, \text{ или } P_1 \cdot 3_2 = P_2 \cdot 3_1.$$

Это равенство можно рассматривать как некоторый "закон сохранения эффективности" взаимодействующих цивилизаций. Очевидно, что лишь те цивилизации, взаимодействие которых подчиняется этому закону, получают "преимущественное право" на контакты между собой. Все остальные цивилизации будут либо в меньшей мере вступать в контакт (или продолжать его), либо вообще избегать взаимодействия. Если потенциальная эффективность является информационной причиной к установлению контактов, то его фактическая эффективность послужит причиной либо дальнейшего его развития, либо в силу социально-экономических причин отказа от его продолжения.

Мы не склонны абсолютизировать роль социально-экономических факторов эффективности контакта космических цивилизаций, ибо в принципе и на Земле, и в космосе могут быть и иные критерии. Однако мы еще раз подчеркиваем, что первенство должно быть отдано социально-экономическим соображениям, а не этическим или иным, "надстраиваемым" над экономическими, о которых говорит правовед Э. Фазан [5] и его последователи [6].

#### ЛИТЕРАТУРА

1. *Урсул А.Д.* Освоение космоса (философско-методологические и социологические проблемы). М., 1967.
2. Проблемы теории и анализа эффективности общественного производства. М., 1972.
3. *Хачатуров Т.С.* Эффективность капитальных вложений. М., 1979.
4. *Ursul A.D.* — *Filosoficky casopis*, 1980, N 6.
5. *Fasan E.* — *Relation with alien intelligenzen. The scientific bases of metalaw*. В., 1970.
6. *Freitas R.A.* — *Mercury*, 1977, vol. 6, N 2.

УДК 129:008/524.8

Э.С. Маркарян

### ПРОБЛЕМА ВНЕЗЕМНЫХ ЦИВИЛИЗАЦИЙ И ГЛОБАЛЬНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

Безотносительно к тому, будут ли когда-нибудь найдены проявления разумной жизни в космосе, научное исследование проблемы внеземных цивилизаций<sup>1</sup> (ВЦ) имеет очень большое эвристическое значение, ибо без построения широкой космической перспективы феномен культуры, как и феномен биологической жизни, не может быть действительно глубоко осмыслен как определенный уровень организации материи. Эвристическое значение подобной теоретической перспективы состоит прежде всего в том, что она, позволяя взглянуть на земные формы культуры как бы со стороны, способствует преодолению геоцентристского понимания

ее и тем самым предъявляет более строгие требования к ее исходным определениям. Постигание данного объекта как и других проявлений соответствующих уровней организации возможно лишь при раздвижении экрана познания и рассмотрении культуры как специфических проявлений более широкого класса однопорядковых объектов. В одних случаях явления культуры могут соотноситься с реальными (земными) объектами, в других (подобно анализируемому) — с гипотетическими. Для логики научного исследования безразлично, к какому из этих подклассов принадлежат объекты. Она лишь требует соблюдения отмеченного приема научного познания.

Проблема ВЦ стимулирует многоплановый научно-интегративный поиск в направлении углубления представлений о самоорганизующихся системах, создавая очень удобное лабораторное интеллектуальное поле для этого. Поэтому разработка данной проблемы может быть использована для практики глобального моделирования, т.е. прогностических исследований динамики мирового развития, призванных устанавливать возможные альтернативные варианты развития человечества в определенных отношениях и выбора из них оптимального. Значение космизации понятия "культура" для практики глобального моделирования обусловлено тем, что это позволяет в предельно широком диапазоне проводить мысленные эксперименты, связанные с применением различных альтернативных вариантов эволюции культуры.

Причем оба эти типа исследований представляют научно-интегративный поиск качественно особого типа, выражающий тесную кооперацию общественных, естественных и технических наук. С этой точки зрения данные исследовательские направления как нельзя более отчетливо отражают процессы формирования новой общей междисциплинарной научной культуры, идущей на смену монодисциплинарной научной культуре [1]. Именно этим обусловлена возможность и необходимость тесного сопряжения разработки проблемы ВЦ и глобального моделирования как родственных видов поиска.

Оба типа исследований базируются на принципе разыгрывания различных сценариев возможного развития цивилизации. Но если глобальное моделирование реализует этот принцип возможных альтернатив по отношению к реальной, единственно известной нам, земной цивилизации, то при разработке проблемы ВЦ указанный принцип осуществляется лишь к возможно существующим в космосе цивилизациям. Отсутствие эмпирического базиса составляет главную трудность разработки проблемы ВЦ. Но это обстоятельство одновременно способствует взлетам научного воображения, позволяет предполагать возможные формы проявления самоорганизующихся систем социокультурного уровня и осуществляемого ими адаптивно-экологического поведения.

Характеризуя круг вопросов, обсуждавшихся на семинарах по глобальной экологии, организованных Международным институтом жизни, Н.Н. Моисеев пишет [2] о том, что для всех его участников было очевидно, что готовых решений глобально-экологических проблем, с которыми столкнулось сегодня человечество, нет и быть не может. Наука, вступая на путь поисков этих решений, должна осваивать новые методы, подходы, во многом менять устоявшиеся стереотипы мышления. Поэтому, отмечает он, любые свежие нетрадиционные мысли и подходы приобретают особую ценность и требуют самого серьезного и глубокого анализа.

Эвристическая ценность космизации культуры заключается в создании благоприятной почвы для выработки новых подходов и идей, связанных с поведением самоорганизующихся систем. Это проявляется уже в поста-

<sup>1</sup> В статье термины "цивилизация" и "культура" используются как синонимы.

новке самой исходной методологической проблемы, встающей при решении задачи космизации культуры. Суть данной проблемы состоит в том, чтобы показать принципиальную возможность, дать научно обоснованную инвариантную характеристику общего класса объектов культуры (включая и гипотетически предполагаемые ВЦ), исходя из единственно известного нам их проявления — земной культуры. Путь к инвариантной характеристике общего класса явлений культуры лежит через вскрытие инвариантов самоорганизации жизни и соединение полученных знаний со знаниями о системных свойствах человеческой культуры. Выявление же этих инвариантов самоорганизации возможно прежде всего благодаря сравнительному анализу культуры и форм организации биологической жизни.

Принципиальные различия социокультурных и биологических систем позволяют непосредственно предать реальным обществу свойства присутствующих им типов организации и установить фундаментальные, инвариантные свойства классов объектов, именуемых цивилизацией. Это помогает выработать надежные критерии данных типов организации и избегать произвольностей в выдвигаемых гипотезах о возможных проявлениях ВЦ, например утверждений о существовании "биологических" цивилизаций.

Если попытаться вникнуть в общую природу культуры как космического феномена, отвлекаясь от привычных земных представлений и деталей, то, по-видимому, есть все основания рассматривать ее как одну из особых форм "борьбы" материи за негэнтропию. В данной теоретической перспективе культура выступает в качестве специфического способа организации систем, благодаря которому последние оказываются в состоянии успешно противостоять энтропийным процессам и повышать уровень своей организации. И в осуществлении данной функции культура базируется в качестве своей исходной предпосылки на потенциях, созданных в этом плане биологическим типом организации, но используя при этом качественно особые, не заданные данным типом организации средства и механизмы.

Субстратная основа проявлений жизни может быть принципиально различной (углеродной, кремниевой и т.д.). С точки зрения материальных предпосылок культуры важно, чтобы это были формы жизни. Таким образом, в данном случае очень важно подчеркнуть надбиологический характер любой цивилизации.

Говоря о значении космизации понятия "культура" для углубления наших знаний о развитии общества и возможных видах его дальнейшей эволюции, не менее важно отметить и обратное влияние, связанное с воздействием тех представлений об общественном развитии, которые формируются сегодня под непосредственным влиянием глобального моделирования на разработку моделей ВЦ, на процесс космизации культуры.

Достаточно в этой связи указать на те совершенно новые возможности, которые несет в себе имитационное, системно-оптимизационное моделирование социальных процессов для перспектив преодоления стихийного этапа развития культуры как целостной системы. Ведь следует учесть, что до сих пор космические модели цивилизации строились обычно путем тех или иных экстраполяций, основанием которых служило в целом стихийное развитие культуры на Земле. Если в литературе проблема целостного планируемой эволюции цивилизации и обсуждалась, то высказываемые при этом идеи носили весьма неопределенный характер [3]. Это объясняется прежде всего тем, что они никак не могли подкрепляться земной практикой. Практика глобального моделирования коренным образом изменяет ситуацию, ибо она свидетельствует о зреющих в недрах современной культуры крайне важных тенденциях, указывающих на создание реальных

научно-технических предпосылок осознанно планируемого целостного развития культуры, включая и ее природно-экологическую подсистему.

Суть этих предпосылок состоит в том, что характерный для процессов стихийной эволюции метод проб и ошибок, выражающийся в опробовании системой на собственном опыте различных возможных альтернатив развития и отбора соответствующих способов деятельности, переносится на модельный уровень. Подобное замещение уровней и модельное разыгрывание различных сценариев, имитирующих возможные направления, по которым может пойти моделируемая система, не только способно предотвратить многие ошибочные действия людей, в том числе и такие, которые могут иметь катастрофические последствия в глобальном масштабе, но и позволит значительно расширить спектр альтернативных вариантов развития и отбора присутствующих им оптимальных способов реализации процесса.

Осознание этих наметившихся реальных тенденций, несомненно, способно стать очень важной исходной теоретической предпосылкой для совершенствования космических моделей цивилизаций посредством обобщений, подтверждаемых земной практикой. И это понятно, ибо идея осознанно планируемого развития цивилизации приобретает реальный базис, определенную эмпирическую основу. Совершенствование же космических моделей цивилизации способно оказать обратное стимулирующее воздействие на практику глобального моделирования благодаря выявлению в принципе возможных вариантов развития культуры.

Связь процесса космизации культуры с практикой глобального моделирования выдвигает ряд новых задач и позволяет по-новому ставить некоторые фундаментальные вопросы, которые издавна волновали научную мысль. К их числу относятся: проблема соотношения общества как особой закономерно развивающейся "естественной системы", сопоставимой с развитием иных уровней организации материи.

И сегодня подобный процесс развития обычно ассоциируется со стихийной эволюцией системы. Поэтому центральная задача, которую предстоит решить в этой связи, состоит в выработке такого понимания "естественности" развития цивилизации, которое бы в зависимости от типов анализируемых ситуаций позволило бы в равной мере сопрягать данное развитие как со стихийно осуществляемыми процессами, так и процессами, осознанно планируемыми. А это прежде всего предполагает соотнесение понятий "естественного" и "искусственного". В связи со сказанным думается, что данная задача может быть наилучшим образом решена именно в предельно широкой теоретической перспективе, образуемой процессами космизации понятия "культура".

До настоящего времени проблема соотношения "естественного" и "искусственного" чаще всего рассматривалась в относительно узкой перспективе, ограниченной рамками самой человеческой деятельности. Сравнение общества и природы обычно проводилось в плане их противопоставления как "искусственного" и "естественного". Типичным примером в этой связи можно считать точку зрения, согласно которой природа и человеческая деятельность различаются как сферы "естественного" и "искусственного", а сам человек интерпретируется как явление, относящееся к сфере "искусственного". Но подобный подход практически снимает проблему общества как "естественной" системы особого рода. Между тем эта проблема приобретает в наши дни большое практическое значение и в связи со все более усиливающимися процессами интегративного взаимодействия общественных, естественных и технических наук. Достаточно в этой связи указать на практику экологического знания, в рамках кото-

рого человеческое общество должно рассматриваться как составная часть биосферы, сопоставимая с другими ее частями.

Поэтому тут нужны принципиально иные подходы. По-видимому, в качестве реакции против отмеченного понимания понятия "искусственного" известный американский исследователь, лауреат Нобелевской премии Герберт Саймон использовал [4] данное понятие для характеристики любых адаптивных процессов в развитии жизни и создании новых форм. Тем самым он значительно расширяет сферу приложения понятия "искусственного", охватывая им не только процессы и результаты человеческой деятельности, но также и активность биологических систем. Соответственно Г. Саймон резко ограничивает сферу приложения понятия "естественный". Им он охватывает только объекты, для которых не характерны адаптивные и креативные процессы.

На наш взгляд, правильное решение рассматриваемой проблемы может быть достигнуто, если мы используем понятие "искусственного" для характеристики не процессов адаптации и их результатов в их целостности, но лишь их собственно креативной части. Другими словами, данное понятие призвано охарактеризовать тот аспект динамики самоорганизующихся систем, который выражает потенциальный источник преодоления стереотипизированных форм биологических популяций и человеческих объединений и создания новых подобных форм, более адекватно отвечающих требованиям среды.

По-видимому, для правильного решения проблемы соотношения "естественного" и "искусственного" требуется принятие концептуальной схемы, образуемой тремя основными понятиями. Исходным и фундаментальным среди них является понятие "естественных процессов", отражающее динамику развития самоорганизующихся адаптивных систем в целом и охватывающее все состояния осуществляемых в них трансформаций. Производным от него выступают понятия, выражающие "собственно естественные" и "искусственные" состояния этих систем.

Соответственно этой схеме "собственно естественные" состояния развития самоорганизующихся живых систем выражаются в стереотипизированных формах биологических популяций и социокультурных объединений, которые формируются в ходе отбора и принятия биологических и культурных нововведений в процессах адаптивного взаимодействия со средой. С нашей точки зрения, именно эти "инновации", т.е. мутации и рекомбинации генов, с одной стороны, и культурно детерминированные креативные акты и их рекомбинации, с другой, образуют "искусственное состояние" системы биологических популяций и единиц социокультурного развития.

Описанная инвариантная модель в предельно абстрактной космической перспективе выражает самую суть эволюции самоорганизующихся живых систем, их адаптивную динамику. Ведь эта динамика проявляется в постоянных, повторяющихся процессах трансформирующих инновации в принятые групповые стереотипы и их последующее преодоление благодаря тому же источнику безотносительно к уровню рассматриваемых систем<sup>2</sup>.

Важно подчеркнуть, что рассмотренная в широкой теоретической перспективе мироздания в целом, охватывающей и неорганическую природу, данная модель оказывается в соответствии с новейшими представлениями о процессах самоорганизации, выработанными в термодинамике открытых систем и синергетике. Суть этих представлений выражена в

<sup>2</sup> Непосредственной теоретической основой для выработки данной модели явился сравнительный анализ динамики культурных традиций с процессами аккумуляции и передачи жизненного опыта в процессах биоэволюции [5].

идее флуктуации, т.е. спонтанного отклонения системы от некоторого среднего макроскопического состояния, приводящего к образованию новых устойчивых структур [7, 8]. В данной перспективе взаимопревращения, выражающие преодоление посредством инноваций стереотипизированных устойчивых состояний живых систем разного уровня и переход к их новым устойчивым состояниям, можно с полным основанием рассматривать как частное, характерное для адаптивных процессов, выражение флуктуации как универсального явления самоорганизации.

"Искусственное" в данном случае ни в коей мере не следует понимать как некий антипод "естественности", а лишь как ее закономерное проявление. С этой точки зрения о креативной стороне адаптивных процессов можно говорить как о "естественной искусственности".

История человечества дает основание для широких космических обобщений, связанных с выделением в развитии двух этапов развития культуры, взятой в ее целостности: стихийно и определенным образом осознанно планируемого.

Стихийный характер развития культуры, по-видимому, соответствует относительно медленным темпам ее развития. Стремительное ускорение развития общества и резкое многократное усиление присущих ему преобразовательных возможностей делает эволюцию культуры посредством метода "проб и ошибок" уже неприемлемой. И именно этим обуславливается необходимость перехода к этапу научно обоснованной регуляции важнейших сторон развития культуры.

Методологическое значение предложенной нами схемы, выражающей соотношение "естественного" и "искусственного", мы видим в том, что она в равной мере приложима к обоим этапам развития культуры. В соответствии с данной схемой эффект "собственно естественного состояния" общественной системы может быть с одинаковым успехом достигнут как путем стихийно осуществляемого отбора и стереотипизации социально-исторического опыта, так и стереотипизации этого опыта посредством сознательно вырабатываемых и планируемых инноваций. Ярким примером выработки подобных инноваций, базирующихся на научной основе, может стать имитационное глобальное моделирование.

Особенно плодотворную почву космоизированные представления о культуре создают при рассмотрении ее природно-экологической подсистемы. Это объясняется тем, что именно в той сфере, которую она призвана регулировать, т.е. во взаимодействии общества со средой, находят свое проявление универсальные законы развития материи, в том числе и законы термодинамики. Рассмотренная с этой точки зрения культура помимо иных своих функций модифицирует универсальные законы движения материи в соответствии с общими законами развития общества как самоорганизующейся системы [6].

При построении абстрактно-идеализированных, оптимальных моделей будущего экологического развития человечества представляется важным выдвигание всех возможных реально достижимых вариантов оптимизации его взаимодействия с природной средой. Именно на этом этапе космоизация исследуемых объектов особенно плодотворна.

При построении подобных абстрактно-идеализированных моделей, ставящих целью нахождение оптимальных (с точки зрения законов самоорганизации) путей экологического развития человечества, их следует приблизить к реальной ситуации в мире. Это позволит перейти к следующему этапу моделирования системной экологической динамики человечества, призванному учесть и другие действующие факторы, связанные с несовершенством современной материальной технологии, социально-экономи-

ческим, политическим, региональным многообразием и другими моментами.

Кстати сказать, то обстоятельство, что многообразие параметров современного развития человечества не было с достаточной степенью учтено в первых глобальных моделях Дж. Форрестера и Д. Медоуза, возможно отчасти объясняется тем, что данные авторы, ощущая необходимость создания абстрактно-идеализированной картины человечества, в то же время стремились выдать ее за реально существующую картину. Поэтому четкое осознание необходимости дифференциации отмеченных этапов моделирования имеет очень важное методологическое значение.

Проведенный выше анализ показал, что задачи космизации культуры выдвигают весьма серьезные методологические проблемы и что рассмотрение последних позволяет расширить и углубить наши представления о данном феномене путем преодоления рамок его обычного геоцентрического восприятия. Основной вывод, который можно сделать в связи с этим, состоит в том, что решение данных проблем, оказавшееся необходимым логическим звеном в построении общей теории культуры, может и должно быть непосредственно увязано с важными и насущными земными задачами.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Маркарян Э.С. Теория культуры и современная наука. М.: Мысль, 1983, гл. VI, § 2.
2. Мусеев Н.Н. — Вестн. АН СССР, 1982, № 3, с. 92.
3. Внеземные цивилизации: Проблемы межзвездной связи. М.: Наука, 1969, с. 398.
4. Саймон Г. Науки об искусственном. М.: Мир, 1972, с. 5, 16, 73.
5. Markarjan E. Theorie der Kultur. М., 1986, т. 5.
6. Маркарян Э.С. Инварианты самоорганизации и проблема внеземных цивилизаций. — В кн.: К.Э. Циолковский и проблемы развития науки и техники. М.: Наука, 1986, с. 115.
7. Prigogine J. Time, Structure and Fluctuations. — Science, 1978, vol. 201, N 4358, p. 777.
8. Хакен Г. Синергетика. М.: Мир. 404 с.

УДК 008:524.8

Г. Маркс

### ПРОБЛЕМА ОДНОВРЕМЕННОСТИ

#### ПРОСТРАНСТВЕННЫЙ ИНТЕРВАЛ

Потенциальное число независимо возникающих цивилизаций в Галактике можно оценить с помощью формулы Дрейка, содержащей семь сомножителей:

$$N_c = N_* q_* q_p n_p q_i q_t \quad (1)$$

Здесь  $N_*$  — число звезд в Галактике;  $q_*$  — доля звезд, потенциально пригодных для поддержания жизни;  $q_p$  — вероятность образования планет;  $n_p$  — среднее число обитаемых планет, обращающихся вокруг звезды;  $q_i$  — вероятность возникновения жизни на планете;  $q_t$  — вероятность возникновения цивилизации (на обитаемой планете);  $q_t$  — вероятность возникновения развитой технологии (если все предыдущие условия выполнены).

Подставим в формулу разумные значения этих величин, т.е.  $N_* = 10^{11}$ ,

$q_* = 10\%$ ,  $q_p = 100\%$ ,  $n_p = 0,01$ ,  $q_i = 100\%$ ,  $q_i = 100\%$ ,  $q_t = 100\%$ . (Аргументы в пользу этих оценок: астрономические сомножители обоснованы довольно хорошо; жизнь возникает очень быстро в пределах интервала времени ~100 млн. лет после образования океанов, так что возникновение жизни можно считать весьма вероятным событием; разум и технология открывают лучшие шансы для выживания, поэтому их развитие может усиливаться естественным отбором.)

Можно надеяться, что общая ошибка не превышает трех порядков величины, тогда потенциальное возможное число цивилизаций в нашей Галактике можно оценить как

$$N_c = 10^{8 \pm 3}.$$

Вполне обнадеживающее число! Оно согласуется с естественным предположением, что никакого "бога из машины" не нужно было ни на какой степени развития, ведущей к образованию человеческой цивилизации.

Среднее расстояние между звездами в Галактике составляет  $d_* \approx 10$  св. лет; число звезд, приходящихся на одну цивилизацию, —  $N_*/N_c = 10^{3 \pm 3}$ , поэтому ожидаемое расстояние между двумя соседними цивилизациями будет

$$d_c = d_* (N_*/N_c)^{1/3} = 10^{2 \pm 1} \text{ св. лет.}$$

Это расстояние слишком велико для путешествия в пределах времени жизни путешественников (исключая особо счастливые случаи, подобно случаю со звездой Барнарда, описанному в романе Хойла "Пятая планета"). Но даже пессимистическая оценка расстояния в 1000 св. лет лежит в пределах досягаемости современной земной радиотехники. Это оправдывает поиск цивилизаций посредством радиотелескопов.

#### ВРЕМЕННОЙ ИНТЕРВАЛ

Радиоконтакт подразумевает одновременную передачу и прием сигналов (с учетом сдвига во времени  $d_c/c$ ). Рассмотрим вопрос о числе одновременно существующих галактических цивилизаций. Современный возраст Галактики  $T_g = 10^{10}$  лет, поэтому средняя скорость звездообразования составляет приблизительно

$$R_* = N_*/T_g = 10 \text{ звезд в год.}$$

Ожидаемая скорость образования цивилизаций

$$R_c = N_c/T_g = 10^{-2 \pm 3} \text{ цивилизаций в год.}$$

То есть каждое столетие и каждое тысячелетие рождается новая цивилизация. Если, однако, интерес к космосу и космическая активность цивилизаций длится не дольше одного столетия (пессимистическая, но отнюдь не невообразимая возможность, учитывая нынешний настрой некоторых правительств на Земле), цивилизации могут быть многочисленны, но они могут разминуться во времени. Это разрушает надежды на легкий радиоконтакт.

Пусть  $T_a$  — продолжительность фазы развитой научно-технической активности в истории цивилизаций. В этом случае применима формула, содержащая девять сомножителей:

$$N_s = N_c \frac{T_a}{T_g} = N_* T_g^{-1} q_* q_p n_p q_i q_t T_a, \quad (2)$$

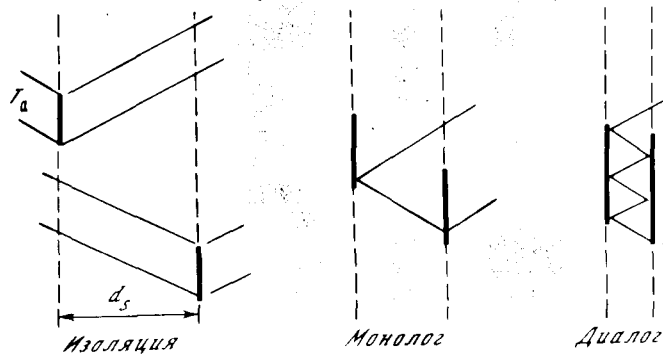


Рис. 1. Схематическое изображение в координатах пространство—время ситуаций, возможных при попытках установления контакта между космическими цивилизациями, зависящих от соотношения между средней длительностью научно-технологической активности цивилизации  $T_a$  и расстояния между ними  $d_s$

которая дает для ожидаемого числа цивилизаций, одновременно находящихся в активной фазе:

$$N_s = 10^{-2 \pm 3} T_a \quad (3)$$

( $T_a$  — выражено в годах).

Ожидаемое расстояние между двумя соседними одновременно существующими цивилизациями будет

$$d_s = d_* (N_* / N_s)^{1/3} = 10^{3 \pm 1} (10^7 / T_a)^{1/3} \text{ св. лет}, \quad (4)$$

$T_a$  по-прежнему выражено в годах.

Если только активная фаза не длится миллионы лет, то одновременно существующие цивилизации могут оказаться слишком удаленными, чтобы найти друг друга, достичь друг друга и установить контакт друг с другом посредством экономически приемлемых усилий. Условие, при котором возможен диалог между цивилизациями:

$$T_a > 2d_s/c, \quad (5)$$

или, соединяя уравнения (4) и (5), получим

$$T_a > 20\,000 \text{ лет}. \quad (6)$$

Это время, которое требуется для получения ответа. Будет ли готово какое-либо учреждение финансировать такой продолжительный по времени проект? (рис. 1).

У столкнувшихся с подобными проблемами ученых развитых цивилизаций может возникнуть вопрос: как послать сигнал сквозь время? Как контактировать с людьми далекого будущего, которые появятся, когда передающая цивилизация уже не будет существовать или не будет расходовать средства на такое мероприятие? (Эти два ограничения, с галактической точки зрения, означают одно и то же).

#### ПОСЛАНИЕ СКВОЗЬ ВЕКА

Было сделано несколько предположений, как послать сообщение во времени:

**Электроника** (Тесла, Брейсуэлл, Лунен). Можно послать электронный

зонд, который приблизится к далекой звезде и будет обращаться по орбите вокруг перспективной планеты, ожидая в течение эпох появления радиосигналов от местной системы телекоммуникаций, чтобы затем передать этим новым поколениям людей хранящееся на зонде послание. Для среднего пространственного и временного диапазона такая стратегия установления контакта может быть экономичной. Она ограничена временем жизни (работоспособности) электроники. Для современных космических кораблей оно составляет несколько лет, но принципиально не является невозможным увеличить его до тысяч лет. Однако о миллионах или миллиардах лет говорить трудно.

**Нуклеоника.** Существует около 300 устойчивых ядер, характеризующихся целыми числами  $A$  и  $Z$ . Сплав горного хрусталя с необычным изотопным составом может использоваться в качестве сообщения, закодированного в символах  $A$  и  $Z$ . Такое послание является стойким в отношении огня и коррозии, но, конечно, оно имеет свои недостатки, его информативность ограничена несколькими битами, и хрусталь может легко затеряться в космической пустыне.

**Бионика.** Живые существа передают в макромолекулярных цепях ценную информацию, по количеству сопоставимую с небольшой библиотекой. Одна молекула ДНК содержит от  $10^6$  до  $10^{10}$  бит!. Такое сообщение очень компактно, но оно будет разрушено термодинамическими процессами в течение нескольких лет. Жизнь успешно сохраняет генетическую информацию путем включения "текста" в самореплицирующие системы. Популяция самореплицирующих структур копирует генетическую информацию во многих экземплярах, исключая ошибки посредством естественного отбора, в результате правильные копии распространяются по обитаемой планете, так что послание не будет потеряно. Это означает, что семена самореплицирующих структур являются превосходными кандидатами в межзвездные почтальоны.

Этот сценарий сходен с некоторыми обстоятельствами в истории земной жизни. Как было упомянуто выше, время ушедшее на создание жизни ( $10^8$  лет), удивительно мало по сравнению с временем, которое потребовалось для изобретения многоклеточных организмов (около  $3 \cdot 10^9$  лет). Подобные факты привели к идее о панспермии (Аррениус, 1908 г.), направленной панспермии (Крик и Оргел, 1973 г.) и разумных посланиях, возможно связанных с передаваемой биологической информацией (Г. Маркс, 1979 г.).

Передача информации в форме аperiодической молекулярной структуры вместе с сохраняющимся в космических условиях снаряжением технически легко выполнима. Даже с помощью нашей современной технологии можно сконструировать небольшой зонд, загрузив его микроорганизмами, помещенными в состояние глубокого охлаждения и защищенными от воздействия космической радиации. Психологически это хорошо мотивировано (стремление передать генетическую информацию имеет исключительное значение для эгоистичного гена). Этот метод приемлем и экономически.

Если первое разумное существо нашло, что оно одиноко в Галактике, и вознамерилось посеять в звездных окрестностях семена жизни, то для выбора имелось несколько подходящих вариантов самореплицирующих структур. Можно собрать водоросли из соседнего водоема; в этом случае микроорганизм-посланец будет нести косвенную информацию о местных условиях своей планеты. (Заметим в этой связи, что элемент молибден, который редко встречается в земной коре, играет существенную биологическую роль. Уотсон и Крик сделали вывод, что материнская планета



галактической жизни могла обращаться вокруг молибденовой звезды. Более простое объяснение биологической роли молибдена для земной жизни состоит в том, что ионами молибдена насыщена морская вода.)

Другая возможность состоит в том, что микроорганизм-посланец является артефактом, созданным Первыми Людьми Галактики с помощью генной инженерии. В этом случае к искусственной молекуле ДНК можно добавить некоторые биологически неактивные сегменты, чтобы сверх того передать еще и разумное послание. Это послание может быть прочтано теми людьми, которые уже живут на планете, куда отправляется послание, или теми разумными существами, которые возникнут там из перенесенных микроорганизмов в результате биологической эволюции. Этот биологически неактивный сегмент также может распространиться по планете. Имеется, однако, серьезное возражение против гипотезы о связи с помощью направленной панспермии: биологически нейтральные сегменты ДНК будут легко разрушаться случайными мутациями.

Существует лишь одно "место", где информационное содержание послания будет обладать совершенной защитой против разрушения, эффективно действующей в течение миллиардов лет. Это сам генетический код. Однако никому еще не удалось расшифровать ни одного бита закодированного им разумного послания. Таким образом, никакие доказательства, подтверждающие идею направленной панспермии, пока еще не получены.

#### ДЕВСТВЕННАЯ ГАЛАКТИКА

Давайте посмотрим еще раз на формулу из девяти сомножителей! Планеты образуются с неизбежностью, чтобы принять избыток углового момента звезды.

Жизнь возникает автоматически, так как существуют самореплицирующиеся системы и природа имеет в избытке пространство, время и сырье.

Разум обладает исключительным биологическим преимуществом. Но эволюция от водоросли до разума требует миллиарды лет спокойного развития. Исследование атмосфер ближайших планет и заботы, связанные с проблемой загрязнения, заставляют нас думать, что термическая и химическая стабильность земной атмосферы скорее похожа на чудо, чем на необходимость. Уравнение энергетического баланса для Земли можно записать в виде

$$(1 - a)R^2\pi S + W = 4\pi R^2 t \sigma T^4$$

Здесь  $a$  — альbedo;  $R$  — радиус Земли;  $S$  — солнечная постоянная (в настоящее время  $S = 2 \text{ кал/см}^2 \cdot \text{мин}$ );  $W$  — любой дополнительный источник тепла внесолнечного происхождения;  $t$  — пропускание атмосферы;  $T$  — температура земной поверхности;  $\sigma$  — постоянная Стефана-Больцмана.

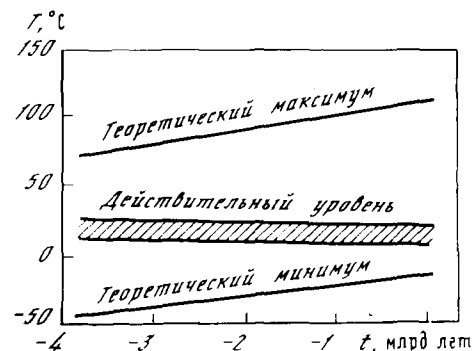
Значение альbedo заключено в пределах от 0,07 (лунные породы) до 0,61 (облака Венеры). При  $a = 0$ ,  $T = +6^\circ\text{C}$ ; при  $a = 0,34$  (современное значение для Земли, промежуточное между океаном и облаками) и при отсутствии атмосферы  $T = -25^\circ\text{C}$ . В действительности средняя температура поверхности Земли составляет  $+15^\circ\text{C}$ . Избыток в  $40^\circ$  может быть обусловлен парниковым эффектом атмосферы ( $t < 1$ ).

Проблема состоит в том, что  $S$ , согласно всем (стандартным и нестандартным) моделям Солнца, возрастало в течение прошедших 4 млрд лет. Изменение солнечной постоянной  $\dot{S}/S = 5 \pm 1\%$  за миллиард лет, что дает изменение температуры на  $4^\circ$  за миллиард лет. Если это так, то 4 млрд лет назад Земля должна была быть замерзшей. Снег имеет альbedo  $a = 0,9$ .

Если бы климат начал формироваться на глубоко замерзшей Земле, увеличение  $S$  не могло бы растопить океан, так как свет отражался бы от ледяной поверхности. Это находится в противоречии с тем фактом, что земная температура в прошедшие 4 млрд лет была заключена между точкой плавления льда ( $0^\circ\text{C}$ ) и точкой плавления ДНК ( $80^\circ\text{C}$ ).

Изменение  $S$  может быть компенсировано изменением  $a$  и  $t$  весьма специфическим образом, чтобы в результате получить постоянную  $T$ . Изменение ледяной шапки и облачного покрова ведет к изменению альbedo  $a$ .

Рис. 2. Изменения температуры на поверхности Земли за последние 4 млрд лет



Изменение содержания  $\text{CO}_2$  и  $\text{H}_2\text{O}$  ведет к изменению пропускания  $t$ . Проблема состоит в том, что следует ожидать положительной климатической обратной связи вместо отрицательной:

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Повышение} \\ \text{температуры} \end{array} \right\} \rightleftharpoons \left\{ \begin{array}{l} \text{Больше } \text{CO}_2 \\ \text{и воды} \end{array} \right\} \left\{ \begin{array}{l} \text{Понижение} \\ \text{температуры} \end{array} \right\} \rightleftharpoons \left\{ \begin{array}{l} \text{Больше снега,} \\ \text{меньше воды} \end{array} \right\}$$

А это приводит к нестабильной атмосфере вместо стабильной. Этот вывод подтверждается фактом необратимого парникового эффекта на Венере и необратимой ледяной эпохи на Марсе.

Содержание  $\text{CO}_2$  в земной атмосфере подвергалось сильному воздействию биосферы. Естественная радиоактивность и приливное трение могли дать значительную величину  $W$  в прошлом. Проблема в том, что все эти эффекты имеют временную зависимость, отличающуюся от временной зависимости для  $S$ , поэтому без эффективной регулировки невозможно вообразить 10%-ю температурную стабильность в течение 4 млрд лет (рис. 2).

Дж. Ловлок обратил внимание<sup>1</sup> на тот факт, что имеются также другие признаки очень эффективной регулировки. Например, хорошо известно, что атмосферный кислород был создан и воссоздавался биосферой. При содержании кислорода ниже 10% горение не было бы возможно даже при использовании в качестве топлива сухой древесины. При содержании его выше 25% горела бы даже сырая трава и лес под дождем. В настоящее время концентрация кислорода поддерживается на уровне 21%. При такой концентрации ничто не горит, если влажность превышает 15% (так что зеленая трава и зеленый лес в безопасности). Как поддерживается такой уровень кислорода, несмотря на мощную химическую динамику в нашей биосфере (рис. 3), приводящую к обновлению всего атмосферного кислорода за 1000 лет?

<sup>1</sup> Lovelock J.E. Gaia. Oxford University Press, 1979. 155 p.

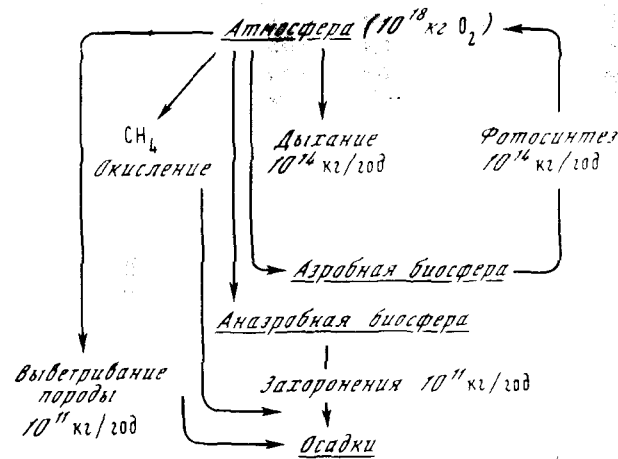


Рис. 3. Динамика кислорода в атмосфере Земли

Ловлок приводит доводы в пользу того, что биосфера, атмосфера и гидросфера образуют единую регулируемую систему, которую он называет Гея (в древнегреческой мифологии — богиня Земли, внучка Хаоса). С помощью следующей таблицы он иллюстрирует, как работает Гея.

Объект	Содержание компонентов в процентах								Средние значения установившихся параметров	
	CO <sub>2</sub> (контроль за климатом)	N <sub>2</sub> (гаситель огня)	O <sub>2</sub> (химическое напряжение)	CH <sub>4</sub> (контроль O <sub>2</sub> )	NO (контроль O <sub>3</sub> )	NH <sub>3</sub> (контроль pH)	CH <sub>3</sub> Cl (контроль O <sub>3</sub> )	CH <sub>3</sub> I (перенос йода)	Температура, °C	Давление, атм
Венера	98	1,9	Следы	—	—	—	—	—	+477	90
Безжизненная Земля	98	1,9	Следы	—	10 <sup>-18</sup>	—	—	—	+290	60
Мартс	95	1,9	0,13	—	—	—	—	—	-53	0,064
Гея	0,03	79	21	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-5</sup>	10 <sup>-6</sup>	10 <sup>-7</sup>	10 <sup>-10</sup>	+15	1

Может ли Гея быть единым организмом, оптимизирующим все свои химические и физические параметры в течение 4 млрд лет на благо биологической эволюции?

Гея, как описал ее Ловлок, ведет себя подобно такому сложному живому организму. Но она не является продуктом биологической эволюции, поскольку эволюция имеет отношение не к индивидууму, а к популяции, действуя путем выживания приспособленных. Поэтому, если она существует на самом деле, она не может быть спонтанно возникшим творением, но вполне может быть разумным артефактом, перенесенным на Землю извне.

Действительно ли она работает в этом оптимизированном телеологическом смысле, или мы должны искать обратный причинный порядок? Должны ли мы поднимать такие вопросы: почему трава сырая именно настолько, как это имеет место в действительности? (Потому что этот уровень влажности необходим для ее сохранения при настоящем содержании кислорода в атмосфере.) Как получилось, что нам необходим йод для нашей щитовидной железы? (Мы используем его, потому что он имеется на Земле и производится из CH<sub>3</sub>I как продукт метаболизма водорослей, живущих в океане.) И так далее и тому подобное...

Мы оставили проблему термической стабильности без ответа. Но если мы задумаемся над вопросами о вероятности существования вземных цивилизаций, о значениях величин, входящих в формулу из девяти сомножителей, — мы лучше познаем самих себя. Таким образом, размышление над вопросами, подобными этим, поможет нам продлить величину T<sub>a</sub>.

УДК 523.07

М.В. Волькенштейн

## БИОЛОГИЧЕСКАЯ ЭВОЛЮЦИЯ И ТЕОРИЯ ИНФОРМАЦИИ

Я хочу остановиться на связи между биологической эволюцией и эволюцией Вселенной. Здесь говорилось, что мы должны рассматривать биологическую эволюцию как совершенно необходимое следствие эволюции Вселенной. Но, коли так, то может быть, уже в момент биг-банг, первичного взрыва, было запрограммировано это наше совещание? Такого рода фатальной детерминированности, очевидно, здесь нет, и нет, мне кажется, никаких научных оснований утверждать, что из эволюции Вселенной с неизбежной необходимостью вытекает возникновение и эволюция жизни. Но что она существовала и существует — в этом мы не сомневаемся. Что же общего между эволюционными процессами, с которыми встречается астрофизика, и биологическими эволюционными процессами? Общее, как я думаю, состоит в следующем: и в том и в другом случае переход системы от одного состояния к другому происходит в результате неустойчивости предшествующего состояния, неустойчивости в строгом физико-математическом смысле этого слова, причем в ряде случаев выходов из этой неустойчивости может быть несколько, т.е. возможен выбор, в этом смысле эволюция звезд сходна с эволюцией живых существ. Возникают различные этапы, различные стадии этой эволюции. У звезд также существует своего рода борьба за существование, конкуренция за вещество. Действительно, из всех областей физики ближе всего к биофизике астрофизика, потому что и та и другая — исторические науки, в то время как обычная физика не исторична (откуда произошел данный электрон, нас не интересует, когда мы его изучаем).

Информационные подходы к такого рода историческим явлениям представляются обещающими и интересными. Я не стал бы утверждать, что они уже очень многое дали развитию реальной науки, но то, что они углубляют понимание, по-видимому, не подлежит сомнению.

В выступлении по одному из докладов я уже говорил о том, что создание новой информации, а таковое происходит и в эволюции Вселенной, и в эволюции биологической, означает запоминание случайного выбора. Очень яркий пример этого в биологической эволюции — половое размно-

тие, потому что в нем происходит запоминание случайного выбора. Никакими законами божескими или человеческими (можно внести лишь некоторую поправку на половой отбор и объявления в брачной газете) не предусмотрено, что именно данная пара особей даст потомство. Между тем это потомство и есть запоминание выбора, потому что это запоминание рекомбинантного генотипа, который возник от сочетания материнской яйцеклетки и отцовского сперматозоида. Значит с этого момента возникает неограниченное, по существу, богатство информации, которое и служит основой для эволюции.

В неживой природе мы тоже встречаемся с неограниченным богатством информации. Скажем, нет двух камешков, одинаковым образом обкатанных морским прибоем. Но это не имеет никакого значения, потому что там нет автокатализа, т.е. нет наследственности, а здесь она есть. Таким образом, мы можем говорить о возникновении, накоплении и передаче информации в ходе эволюции. Попытка перевода языка теории эволюции на язык теории информации принадлежит крупнейшему советскому биологу-академику И.И. Шмальгаузену, который, во-первых, использовал для этого язык обычной канонической теории информации, пользующейся понятием количества информации. Микроинформация эквивалентна энтропии и переводима в энтропию количественно: мы можем сказать, сколько стоит в энтропийных единицах один бит микроинформации — очень дешево, приблизительно  $10^{-16}$  эрг/град. Но более существенно второе утверждение Шмальгаузена — его слова о том, что в биологии важно не количество, но содержание или ценность информации.

Попытку анализа этой проблемы мы опубликовали вместе с Д.С. Чернавским, в последнее время этой проблеме был посвящен целый ряд работ.

В отличие от количества информации, которое сегодня фигурирует и в популярных книгах, и в учебниках, понятие ценности информации не является универсальным уже потому, что то, что ценно для одного приемника — рецептора информации, может не иметь никакой ценности для другого. Я приведу такой пример: какое количество информации содержится в структуре головного мозга быка? С точки зрения ученого — сотни и тысячи бит. С точки зрения мясника — не более 5 бит, потому что мозг быка — это всего навсего одна из примерно тридцати частей, которые идут в пищу. А логарифм при основании два от тридцати — это величина порядка пяти. Так что это относительные величины, и прежде всего нужно разобраться в том, что такое ценность. Мы не можем определять ценность информации независимо от процесса рецепции — восприятия информации, в то время как в канонической теории информации это понятие полностью отсутствует. Рецептор в обычной канонической теории информации умеет только одно: он умеет отличить одну букву от другой, а что значит эта буква, его не интересует. Это достоинство, а не недостаток канонической теории. Если я хочу говорить о ценности, я должен рассмотреть процесс рецепции информации, ибо о ценности я могу судить только по последствиям рецепции. И тогда, при внимательном анализе этой ситуации, выясняется, что рецепция информации есть, во-первых, процесс неравновесный. Во-вторых, для того чтобы рецептор воспринимал информацию, он должен находиться в неустойчивом состоянии, и восприятие информации должно его из этого состояния переводить в более устойчивое. Грубый пример — скажем, я могу получить новую информацию, прочитав некую книгу. Для того чтобы ее прочитать, я должен прежде всего знать язык, на котором эта книга написана, значит, должен быть определенный уровень рецепции. И, во-вторых, я должен хотеть ее прочитать, т.е. у меня должна быть цель, а наличие цели означает наличие неустойчивости, потому что

если я хочу что-то прочитать, то перейду в более устойчивое состояние, прочитаю оное. Следовательно, рецепция — процесс достаточно сложный, который требует учета всех этих ситуационных моментов. Но мы можем поступить проще, мы можем сказать, что мерой ценности информации является незаменимость этой информации для какого-то процесса.

Теперь я немного отклонюсь в сторону.

Обсуждается вопрос о том, как понять необратимость эволюции, направленность эволюции, какие принципы необходимы для понимания биологической эволюции. В недавно опубликованной журналом "Знание—сила" посмертной статье Н.В. Тимофеева-Ресовского указывается, что, по-видимому, тех двух принципов, которыми мы пока располагаем, для этого недостаточно. Он справедливо считает установленными следующие принципы: естественный отбор и то, что Тимофеев-Ресовский называл конвариантной редупликацией генетических молекул ДНК и РНК. Конвариантно — это означает, что если я внес какие-то мутационные изменения в исходный геном, то они дальше неограниченно воспроизводятся. Что же можно к этим двум принципам добавить, ибо их все-таки недостаточно? Следует ли из них непосредственно, что эволюция должна быть необратимой и направленной? В качестве третьего принципа независимо от этой статьи выдвигается усложнение в ходе эволюции. Прежде всего нужно определить, что такое сложность? Строгое определение этого понятия имеется в работах математиков Колмогорова, Чаитина, Мартина-Лёфа. Определение состоит в том, что мерой сложности сообщения может служить количество бит, т.е. количество информации, заключенное в кратчайшей программе, кодирующей или генерирующей это сообщение. Ну, например, я передаю на другую планету, где уже сидят инопланетяне, и их фотографируют представители прессы, последовательность цифр 3, 14, 16 и т.д., могу передать очень большое число цифр, казалось бы, неупорядоченных. Но есть кратчайшая программа, одна греческая буква  $\pi$ , означающая отношение длины окружности к ее диаметру. Это случай большой простоты. В случае сложности — система оказывается тем более сложной, чем длиннее минимальная программа. Наиболее сложное из всего, что мы знаем, это, во-первых, индивидуум, человеческая индивидуальность, и творческое создание человека, скажем, художественное произведение. И то и другое мы не можем запрограммировать укороченным способом, хотя в англо-американской литературе, насколько мне известно, существует сокращенное изложение великих произведений мировой литературы и можно за очень короткое время прочесть, скажем, "Войну и мир" на трех страничках. Но это, очевидно, не адекватная передача.

В связи с этим я хотел бы указать, что сложность живого организма, жизни, единственной, которую мы знаем, имеет иерархический характер. Я уже говорил, что максимально сложна человеческая личность. Заменяемых нет. В каком смысле? В смысле личности. Но если говорить о человеке, о том же Льве Толстом, как о представителе вида *Homo sapiens*, то он эквивалентен любому другому представителю этого вида из людей, населяющих или населявших Землю. Если говорить о млекопитающих, то он эквивалентен любой двутрубке. Если говорить о позвоночных вообще, то он эквивалентен любой камбале и т.д. Короче говоря, имеется объективно существующая иерархия, и первое ее открытие, одно из величайших событий в истории естествознания, была именно классификация видов, которую дал Линней, без Линнея ни о каком Дарвине речи быть не могло. Вот то, что относится к сложности.

Возрастает ли сложность в ходе эволюции? Да, конечно, человек много сложнее сине-зеленой водоросли. Однако имеются и обратные ситуации,

когда сложность, как бы мы ее не определяли — будем пользоваться приведенными определениями, — убывает, а именно: во всех случаях, когда виды, ранее существовавшие независимо, приобретают паразитический образ жизни. Чтобы лучше это запомнить, я приведу один яркий пример: имеется такой морской червь, самка которого имеет макроскопические размеры до 15 см, а самец микроскопический и живет в половых протоках самки. Все, что он умеет — это оплодотворить самку. Очевидно, что сложность здесь резко уменьшена, и говорить о возрастании сложности в этих случаях не приходится, а это случаи принципиальные, так как очень многие виды перешли к паразитическому образу жизни. Так вот я утверждаю (это гипотеза, я вовсе не склонен говорить, что это абсолютно доказано, но на некоторых примерах это можно показать), что основным, третьим, если угодно, принципом эволюционного развития является возрастание незаменимости. Можно добавить при этом слово "информации", можно его не добавлять.

Что это означает? Ну, скажем можно построить шкалу взаимозаменяемости аминокислотных остатков белка, условную шкалу, на основании тех данных, которыми мы располагаем по реальным мутантам белков, и шкалу взаимозаменяемости, вероятности замен кодонов, кодирующих эти аминокислотные остатки. Тогда выясняется, что, скажем, триптофан наименее заменим, или наиболее незаменим, а аланин наиболее заменимая аминокислота. И действительно, если посмотреть на эволюционирующие гомологичные белки, на цитохром с, в частности (а это белок универсальный, фигурирующий и в дрожжах и в человеке), то выясняется, что с ходом эволюции ценность, незаменимость, несомненно, возрастает. Мы можем сказать, что незаменимость вообще возрастает при биологическом развитии. Приведу такой пример: в онтогенезе, в индивидуальном развитии тоже происходит рост незаменимости. Имеются классические опыты Шпемана, сделанные в начале века на амфибиях, на тритонах, в которых было показано, например, что на очень ранней стадии эмбриогенеза, на очень ранней зародышевой стадии уже можно указать, какой участок тела зародыша будет в будущем глазом. Это презумптивный (предполагаемый) глаз. Если пересадить этот участок на очень ранней стадии, не буду употреблять биологических терминов, на тело тритона в разные места этого тела, то этот презумптивный глаз даст то, что положено этому месту: если его посадить на лапу, то это будет ткань лапы, если посадить на хвост — ткань хвоста и т.д. Однако если взять этот зачаток на более поздней стадии, то при пересадке он даст только глаз, т.е. презумптивный глаз превращается в детерминированный. Но это означает возрастание незаменимости, ценности в онтогенезе.

Если возрастает сложность, то, конечно, возрастает и незаменимость — то, что более сложно, не может быть заменено более простой программой. Тут есть тонкие вопросы, связанные с теоремой Геделя, я не буду их касаться. Но как же быть с теми ситуациями, в которых сложность не возрастает? Дело в том, что незаменимость есть понятие более широкое и глубокое, чем сложность, потому что если я говорю о сложности, то я говорю только о структуре, если же я говорю о незаменимости, то я говорю и о функции. Если я говорю о сложности, то имею в виду систему в целом, если же я говорю о незаменимости, то могу говорить о незаменимости отдельных элементов этой системы. Скажем, отдельной аминокислоты в белке. Я могу спросить, например, какое слово обладает большей ценностью: слово в научной статье или слово в стихотворении? Конечно, второе, если это настоящие стихи. Потому что в научной статье я могу заменить это слово синонимами, я могу одно и то же положение выразить мно-

гими способами, а в хорошем стихотворении без ущерба для его художественного содержания и эстетической ценности я не могу заменить ни одного слова. Мы видим, что речь идет о глубоких и общих представлениях.

Нужно, однако, подчеркнуть, что если я говорю о росте незаменимости в ходе эволюции, то это вовсе не означает, что это абсолютно новый принцип. Он, конечно, связан с адаптацией к экологическим нишам, т.е. с естественным отбором. Важно то, что если я понял, что возрастает незаменимость, то я понял, что эволюция имеет направленный характер. Это не независимый принцип, но важный. Требуется его дальнейшая разработка, это все еще только начальные стадии, тут есть ряд вопросов, которых по недостатку времени я не касался, и вопросов достаточно глубоких, но мне кажется, что это тот путь, на котором можно в дальнейшем развивать эволюционную теорию. В это развитие включились сейчас и физики, что означает лишь то, что в биологии, вероятно, уже накоплен настолько большой материал, что оказалось возможным формулировать физические задачи.

В заключение два слова о предмете нашего совещания. Я не знаю, существуют ли инопланетные цивилизации, а если существуют, то установится ли с ними когда-либо контакт. Но обсуждение вопросов, сюда относящихся, полезно уже потому, что мы лучше познаем то, что произошло и происходит на нашей планете, — добиологическую, биологическую и социальную эволюцию.

УДК (576.11 + 523.07) : 523.164

*К.Л. Гладиллин*

## **ПРЕДБИОЛОГИЧЕСКАЯ ЭВОЛЮЦИЯ И ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ ЕЕ ФАКТОРЫ**

Поиск разумной жизни во Вселенной большинство авторов связывают с оценкой возможного числа одновременно существующих в Галактике цивилизаций [1–3]. При этом в расчетную формулу в явном или неявном виде входит величина, характеризующая вероятность существования жизни на планетах типа Земля [3]. Поскольку нам известен лишь один вариант жизни — земная жизнь, оценку вероятности наличия жизни на других планетах мы можем пытаться получить на основании анализа, во-первых, общих закономерностей структурной эволюции во Вселенной [4, 5] и, во-вторых, результатов модельных исследований возможных путей предбиологической эволюции, проводимых в соответствии с основными положениями теории А.И. Опарина [6, 7], которые заключаются в следующем.

1. Земная жизнь представляет собой закономерный результат одной из ветвей эволюционного развития материи во Вселенной, специфическая особенность которой состояла в том, что в ее основе лежала химическая эволюция соединений углерода и формировавшихся из них фазово-обособленных термодинамических открытых неравновесных многокомпонентных систем — пробионтов.

2. Для перехода от химической эволюции к биологической необходима эволюция пробионтов как целостных систем под действием естественного отбора.

Постулирование закономерного характера происхождения жизни делает

возможным целенаправленным исследованием возможных путей образования простейших живых систем. Альтернативные положения, с одной стороны, о чисто случайном возникновении организмов [8], а с другой — о predetermined характере предбиологической эволюции [9, 10] — сталкиваются с практически непреодолимыми теоретическими и экспериментальными трудностями. Исчезающе малая величина вероятности спонтанного формирования биохимически значимых полимеров (менее  $10^{-130}$  [8, 11]) и тем более простейших организмов представляет собой теоретическое подтверждение невозможности возникновения жизни в результате "счастливого случая".

Другая крайность — predetermined — результат слишком оптимистической трактовки данных модельных экспериментов и наибольшей космической распространенности именно биологически значимых химических элементов. Действительно, достоверность корреляции космической распространенности химических элементов и их концентрации в живых системах больше 0,99 [12]. Причина этого может заключаться в следующем: даже самый примитивный микроорганизм представляет собой исключительно сложную систему, возникшую, очевидно, в процессе предбиологической и биологической эволюции в результате множества последовательных стадий эволюционного процесса. Естественно полагать, что значительно больше вероятность возникновения сложных систем из широко распространенных элементов, чем из редких. Видимо, это в определенной степени обусловило, что биохимически универсальными элементами, т.е. бесспорно необходимыми для представителей всех таксономических групп организмов, стали наиболее распространенные во Вселенной химические элементы.

Отрицание второго положения теории А.И. Опарина — необходимости формирования пробионтов в ходе предбиологической эволюции — приводит к отрицанию закономерного характера возникновения живого, так как без эволюции пробионтов такие сложные системы, как простейшие организмы, должны были бы возникнуть либо случайно, либо на основе молекулярного "предetermined".

Процесс предбиологической эволюции можно разделить на два этапа: 1) этап абиогенных синтезов биохимически значимых соединений, протекающий на уровне молекул, статистически распределенных в окружающей среде, и 2) эволюция на уровне отбора целостных систем-пробионтов по приспособленности их к существованию в данных условиях окружающей среды [7].

Первый этап химических превращений может протекать, по всей видимости, под действием различных источников энергии: ионизирующего излучения, ультрафиолетового света и др. Данные о широкой распространенности на различных космических объектах простейших молекул [13, 14], многочисленных модельных эксперименты, показавшие возможность образования из этих простейших молекул практически всех биохимически универсальных, т.е. характерных для представителей различных таксономических групп, низкомолекулярных соединений [12], а также обилие таких веществ в углистых хондритах и их наличие в лунном грунте, свидетельствуют о том, что вероятность этих стадий предбиологической эволюции должна быть близка к 1.

Исследование дальнейших процессов химической эволюции связано с определенными сложностями. Для образования полимерных соединений требуются высокие концентрации активированных мономеров, вероятность чего вряд ли велика для предбиологических условий. Конденсация под действием ионизирующей радиации, ультрафиолетового света или нагревания в безводных условиях приводит к образованию полимер-

ных веществ, содержащих соответственно продукты радиолитического, фотолитического или имеющих разветвленную структуру, несвойственную биополимерам [12]. Все это говорит о том, что величина вероятности протекания этих процессов может быть  $\ll 1$ , в связи с чем особый интерес представляют модельные эксперименты, показавшие образование фазово-обособленных микроструктур (ФОМС) из различных низкомолекулярных предшественников под действием разных источников внешней энергии [12]. Такие структуры демонстрируют вероятные свойства первичных пробионтов: способность к росту (увеличению размеров за счет поглощения компонентов внешней среды и в большинстве случаев их конденсации с образованием полимеров), образованию почек (возможное начало деления), каталитической активности их компонентов и т.п. Быстрота образования различных ФОМС свидетельствует о том, что переход от первого этапа предбиологической эволюции ко второму мог совершаться при благоприятных условиях (прежде всего наличии жидкой воды) за сравнительно короткое время. Таким образом, эти два этапа предбиологической эволюции следует, видимо, рассматривать не как последовательные процессы, а как взаимосвязанные и протекающие параллельно (одновременно). При этом для первого этапа характерен, видимо, отбор органических молекул по скорости их образования и устойчивости, а для второго — по их значимости (ценности) для существования в данных условиях окружающей среды целостных систем-пробионтов. На основании модельных экспериментов можно полагать, что вероятность образования и начальной эволюции пробионтов в условиях планет земного типа также близка к 1.

Конечно, данные модельных экспериментов должны быть дополнены поисками аналогичных микроструктур в естественных условиях. Однако легкость образования ФОМС из биогенных бифильных соединений и биополимеров, а также обнаружение микроструктур в древнейших осадочных породах Земли [12] свидетельствуют в пользу того, что пробионты могли образовываться на первичной Земле. По мнению В. Шопфа и других исследователей [15, 16], основанному на тщательном анализе морфологических, химических и статистических параметров древнейших микрофоссилий, лишь микроструктуры с возрастом не более 3 млрд лет можно с уверенностью отнести к окаменелостям микроорганизмов. В связи с этим микроструктуры осадочных пород с возрастом более 3 млрд лет могут представлять собой окаменелости пробионтов. В пользу этого свидетельствуют также морфологическое сходство и распределение по диаметрам микрофоссилий древнейших осадочных пород Земли, "организованных элементов" углистых хондритов [15] и модельных пробионтов, подвергшихся окремнению в лабораторных условиях [17]. Таким образом, можно полагать, что эволюция пробионтов на Земле в раннем архее протекала в течение времени порядка 1 млрд лет.

За это время должен был сформироваться первичный метаболизм пробионтов, появиться способность использовать энергию солнечного света, совершиться переход от неспецифической самосборки фазово-обособленных микросистем ко все более специфической, создающей условия для возникновения белково-нуклеинового кода и белок-синтезирующего аппарата, означающего фактически появление первичных живых систем (пробионтов) и переход от предбиологической эволюции к биологической. Необходимость появления фотосинтетиков связана с неизбежной диссипацией энергии в ходе предбиологического круговорота веществ. В то же время другие космические или геологические источники энергии (ультрафиолетовый свет, ионизирующее излучение, тепло и др.) в связи с образованием пробионтов становятся неблагоприятными, так как в ре-

зультате усложнения структурной организации систем могут привести к существенной деструкции ее компонентов (фотолиз, радиолиз, денатурация и т.п. соответственно).

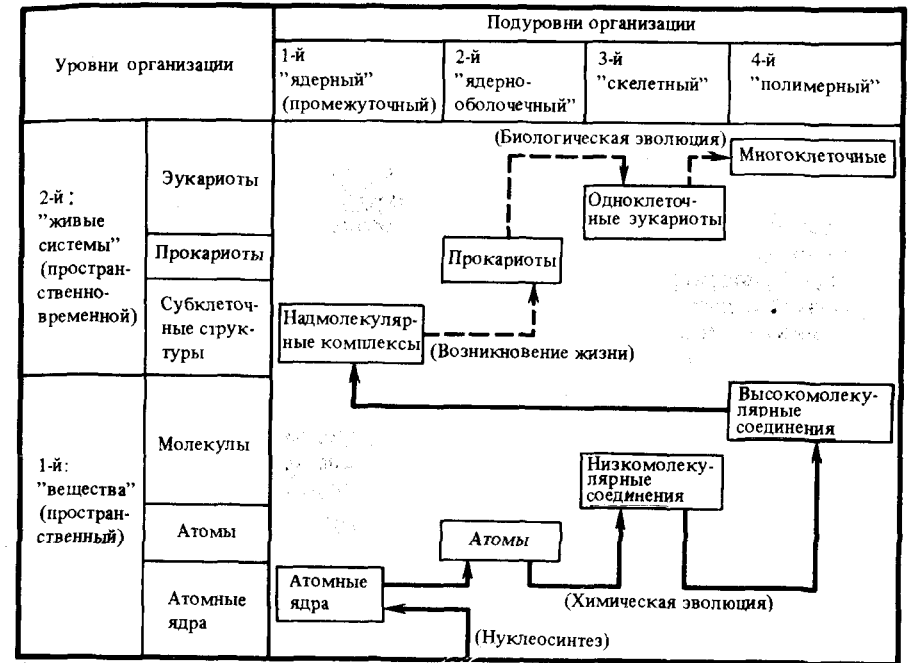
Вероятность возникновения перечисленных выше процессов также должна быть близка к 1. Действительно, катализаторами первичного метаболизма могли быть ионы переходных металлов и их комплексы с абиогенно образующимися органическими соединениями, пептиды, сходные с активными центрами современных ферментов, а также абиогенно синтезирующиеся фрагменты коферментов [12]. Возможность раннего (еще до образования пробионтов) появления фотосинтетических процессов убедительно продемонстрирована работами А.А. Красновского [18, 19]. Переход от неспецифической самосборки первичных пробионтов ко все более специфической сборке, как показывают модельные эксперименты, связан с повышением уровня полимерности макромолекул, обуславливающего возможность появления у них относительно устойчивой конформации [20]. Таким образом, вероятность возникновения жизни на планетах земного типа сводится к вероятности возникновения белково-нуклеинового кода, а также систем матричного синтеза белков и нуклеиновых кислот. В настоящее время имеется большое число теоретических подходов к этой проблеме [8, 10–12, 21–23] и лишь сравнительно небольшое число экспериментальных исследований [12, 23, 24]. На основе этих работ можно сформулировать ряд положений:

1) первичный код мог быть двухбуквенным с запятой; точность кодирования аминокислот могла быть ниже, чем у современных организмов, причем кодироваться могли не индивидуальные аминокислоты, а их группы, состоящие из родственных по своим химическим свойствам аминокислот;

2) в основе кода может лежать белково-нуклеиновое узнавание, являющееся частным случаем избирательности, характерной для взаимодействия макромолекул;

3) на всех стадиях биосинтеза белков и нуклеиновых кислот белки выполняют не только каталитическую и регуляторную функцию, но и непосредственно участвуют в процессах передачи информации, обеспечивая правильность ее считывания в допустимом интервале изменения параметров микроокружения.

Другим подходом к оценке вероятности существования внеземной жизни может служить выявление и рассмотрение общих закономерностей прогрессивной эволюции во Вселенной. Современный уровень развития исследований по эволюции систем различных уровней организации позволяет поставить вопрос о возможности существования общих для всех уровней природы закономерностей эволюционного процесса [5]. Кроме того, возможно выявить монотонный характер изменения в процессе прогрессивной эволюции ряда параметров (количества структурной информации, энергии связи, относительной массы и др.) основных структурных единиц последовательных уровней организации вещества во Вселенной [4], а также определенное сходство в организации основных структурных единиц эволюции материи: атомных ядер, атомов, низкомолекулярных и высокомолекулярных соединений, прокариотов, одноклеточных и многоклеточных эукариотов (элементарные частицы ввиду недостаточной ясности их структурной организации не рассматривались). Так, Дж. Бернал обратил внимание на повторяемость однородных субъединиц в различных структурах: мономеров в полимерных молекулах, с одной стороны, и субклеточных структур (рибосом, митохондрий) в клетке, клеток в тканях и т.д. [25], с другой. В.А. Геодакян [26] отмечал,



Примечание. Стрелками схематически указано направление прогрессивной эволюции основных структурных единиц: сплошными — химической, для которой основные механизмы процессов в достаточной степени выяснены; штриховыми — биологической, для которой пути эволюционного процесса установлены менее однозначно.

что любая взаимодействующая со средой система, независимо от уровня сложности, должна иметь две подсистемы, одна из которых (более изолированная от среды) обеспечивает консерватизм системы в целом, а другая, непосредственно взаимодействующая со средой и более лабильная, — адаптацию системы к изменяющимся условиям существования.

Аналогии в структурной организации выявляются более четко, если перечисленную последовательность основных структурных единиц организации материи расположить в виде двух рядов (см. схему). Эволюционный переход от 1-го подуровня ко 2-му самый незначительный, поскольку в структурных единицах 2-го подуровня, состоящих из ядра и оболочки, ядро практически полностью определяет структуру и свойства этой системы.

В качестве "ядра" жизнедеятельности прокариотов можно рассматривать набор нуклеиновых кислот (информационно-стабилизирующие структуры прокариотов) и набор белков, осуществляющих в своей совокупности не только все обменные процессы, но и контролирующих и реализующих передачу наследственной информации; в качестве "оболочки" — совокупность метаболитов и их взаимопревращений.

Образование структур следующего подуровня организации — 3-го ("скелетного") — связано со стабилизацией "оболочки". У некоторых структурных единиц "скелетного" подуровня могут появляться как бы зачатки полимерности (например, гомологическая разность —  $\text{CH}_2$  в углеводоро-

дах или множественность рибосом у прокариотов), но главная особенность структур 4-го ("полимерного") подуровня заключается не столько в повторяемости однородных элементов, сколько в возможности их дифференциации. При этом наблюдается как бы уменьшение числа подсистем у структурных единиц "полимерного" подуровня (например, образование доменов в молекулах белков или органов и тканей у многоклеточных организмов). Переход от 3-го к 4-му подуровню связан с появлением новых свойств, приводящих в конечном итоге к возможности перехода на качественно новый уровень организации: от сложных химических структур (вещества) к простейшим живым системам.

Общие черты организации и эволюции основных структурных единиц, свидетельствующие в пользу существования общих закономерностей эволюции материи во Вселенной, — высокая достоверность корреляции космической распространенности химических элементов и их концентрации в живых системах, обнаружение на различных космических объектах широкого спектра биологически значимых соединений, а также данные модельных экспериментов — говорят в пользу того, что земная жизнь не должна быть уникальным явлением в нашей Галактике. Физико-химический подход к изучению возможных путей предбиологической эволюции на модельных системах с учетом данных эволюционной биохимии и сопоставлением процессов в модельных экспериментах и в естественных условиях наметил объединение исследований по проблеме возникновения жизни в единый взаимосвязанный комплекс. В результате дальнейших исследований путей предбиологической эволюции можно ожидать уточнения спектра возможных событий, если только не окажется, что существует единственно возможная последовательность событий, приведших на Земле к появлению первичных организмов. Бесспорно, что обнаружение любых форм внеземной жизни качественно изменило бы наши представления о сущности живого и вероятных путях ее возникновения во Вселенной.

Автор считает своим приятным долгом выразить глубокую и искреннюю признательность А.А. Красновскому и Т.Е. Павловской за обсуждение работы и ценные советы; А.Ф. Орловскому и Я.С. Керученко — за ценные замечания и помощь при подготовке данной работы.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. *Paragiannis M.D.* — In: Origin of Life/Ed. H. Noda. Tokyo: Japan Sci. Soc. Press, 1978, p. 583—595.
2. *Маковецкий П.В., Петрович Н.Т., Троицкий В.С.* — В кн.: Проблема поиска внеземных цивилизаций. М.: Наука, 1981, с. 83—96.
3. *Гиндилис Л.М.* — В кн.: Проблема поиска внеземных цивилизаций. М.: Наука, 1981, с. 126—148.
4. *Стрельницкий В.С.* — В кн.: Проблема поиска жизни во Вселенной. М.: Наука, 1986, см. наст. сб.
5. *Казютинский В.В.* — В кн.: Проблема поиска жизни во Вселенной. М.: Наука, 1986, см. наст. сб.
6. *Опарин А.И.* — ЖВХО, 1980, т. 25, № 3, с. 246—252.
7. *Кастлер Г.* Возникновение биологической организации. М.: Мир, 1967.
8. *Кеньон Д.* — В кн.: Происхождение жизни и эволюционная биохимия. М.: Наука, 1975, с. 105—117.
9. *Fox S.W.* — In: Science and scientists. Tokyo: Japan Sci. Soc. Press, 1981, p. 39—45.
10. *Эйген М., Винклер Р.* Игра жизни. М.: Наука, 1979.
11. *Опарин А.И., Гладиллин К.Л.* — Успехи биохимии, 1980, т. 21, с. 3—53.
12. *Mann A.P.C., Williams D.A.* — Nature, 1980, vol. 283, p. 721—725.
13. *Turner B.E.* — J. Mol. Evol., 1980, vol. 15, N 2, p. 79—101.
14. *Schopf J.W.* — Origins of Life, 1976, vol. 7, N 1, p. 19—36.
15. *Muir M.D., Grant P.R., Bliss G.M.* et al. — In: Chemical evolution of the early precambrian. N.Y.: Acad. Press, 1977, p. 155—170.

17. *Orlovskij A.F., Kirpotin D.B., Keruchen'ko Ya.S.* et al. — In: Evolution and Environment. Praha: CSAN, 1982, p. 647—652.
18. *Красновский А.А.* — В кн.: Происхождение жизни и эволюционная биохимия. М.: Наука, 1975, с. 133—144.
19. *Krasnovsky A.A.* — In: Science and Scientists. Tokyo: Japan Sci. Soc. Press, 1981, p. 47—55.
20. *Oparin A.I., Gladilin K.L.* — Biosystems, 1980, vol. 12, N 3/4, p. 133—145.
21. *Брэдли Д.Ф.* — В кн.: Теория систем и биология. М.: Мир, 1971, с. 59—89.
22. *Врлькенштейн М.В.* — В кн.: Проблема поиска жизни во Вселенной. М.: Наука, 1986, см. наст. сб.
23. *Eigen M., Gardiner W.* — Scient. Amer., 1981, vol. 244, № 4, p. 88—118.
24. *Иванов В.И.* — В кн.: Проблема поиска жизни во Вселенной. М.: Наука, 1986, см. наст. сб.
25. *Бернал Дж.* Возникновение жизни. М.: Мир, 1969.
26. *Гедвакян В.А.* — Пробл. передачи информ., 1985, т. 1, N 1, с. 105.

УДК 523.07

В.И. Иванов

### ДЕТЕРМИНИРОВАН ИЛИ СЛУЧАЕН ГЕНЕТИЧЕСКИЙ КОД?

Все живое на Земле неразрывно связано с генетическим языком. Этот химический язык существует уже от 3 до 4 млрд лет и определяет свойства и индивидуальное развитие каждого организма. Поскольку свойства зависят главным образом от белков, а генетическая информация записана в нуклеиновых кислотах, то существует код, который связывает оба важнейших класса биополимеров. Это — генетический код.

Оказалось, что, несмотря на поразительное разнообразие живых существ, генетический код универсален. Это было выяснено на вирусах, на бактериях, на млекопитающих. Универсальность — свойство интересное, генетический код в ныне существующих живых организмах достаточно сложен, и понять, как он возник, очень трудно. Вот если бы существовало физическое соответствие между последовательностями мономеров нуклеиновых кислот и белков... Тогда можно было бы в виде какого-то процесса самосборки вообразить автоматический перевод генетической информации. Именно так думал когда-то Гамов, который впервые четко сформулировал саму задачу генетического кода.

Однако все попытки найти структурное соответствие между аминокислотами и группами нуклеотидов (триплетами) не увенчались успехом. Поэтому Криком и Оргелом была высказана прямо противоположная точка зрения, что никакого соответствия нет, а генетический код есть просто замороженный случайный выбор. Когда возникла жизнь, существовал какой-то случайный процесс, в котором аминокислотам "предлагались" тройки нуклеотидов; они потом и закрепились. Точно так же, как в силу исторических причин каждый народ использует свой алфавит — мы пишем на кириллице, а в англоговорящих странах используют латинский алфавит, и теперь уже ничего изменить нельзя.

Эти альтернативные точки зрения долгое время пользовались с равным успехом, пока не произошло очень важное событие: на нашей планете были открыты такие системы, где генетический код отличается от "универсального" кода [1]. Следовательно, свойство универсальности, которое вошло в учебники как одно из главных свойств генетического кода, оказалось экспериментально опровергнуто. Системы, в которых были найдены отклонения в генетическом коде, носят название мито-





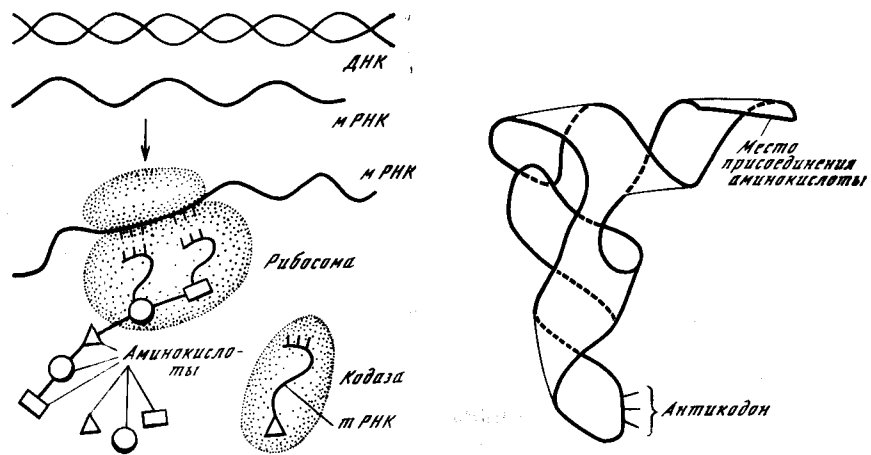


Рис. 2. Стадии синтеза белка в клетке. С гена в ДНК снимается копия в виде матричной РНК; рибосома прочитывает последовательность ее триплетов, синтезируя соответствующую белковую цепь; истинными декодировщиками служат ферменты кодазы, каждая из которых распознает свою тРНК и аминокислоту

Рис. 3. Общий вид молекулы транспортной РНК

ному концу присоединяется аминокислота, на другом находится тройка нуклеотидов, читающая кодон информационной РНК.

Рассмотрим возможный механизм узнавания кодазой тРНК. Обратите внимание (рис. 4), что пары оснований А—У и Г—Ц отличаются в одном существенном отношении. У пары гуанин—цитозин имеется своеобразный выступ, который образован аминогруппой гуанина. Этот выступ есть только у гуанина. Поэтому на поверхности тРНК присутствует узор из выступов, который образует своего рода очень простой двоичный код: гуанин—негуанин [4]. Рис. 5 показывает, что если на молекулах тРНК изобразить места расположения гуанинов, то получится специфический для каждого вида тРНК рельеф.

Я сейчас выскажу гипотезу, а потом приведу доводы в ее пользу, что именно этот рельеф и есть та структурная особенность тРНК, которая узнается кодазой. Можно думать, что здесь работает принцип: "ключ-замок": ключ узнает узор выступов, находящихся внутри замка. Поясним работу данного принципа (рис. 6). Кодаза должна иметь набор своих выступов — узнающих групп, расположенных там, где в тРНК не находится гуанин, — только тогда они могут идеально состыковываться друг с другом.

Рис. 7 иллюстрирует сказанное на конкретном примере. Это объяснение реального случая изменения специфичности чтения кодонов. Посмотрите на узор гуанинов в конечном спиральном участке тирозиновой тРНК. Тирозиновая кодаза должна иметь комплементарный узнающий профиль, чтобы не наткнуться на эти выступы. Глутаминовая тРНК характеризуется другим гуаниновым узором, и, следовательно, "ключ" для нее будет иметь другую конфигурацию. Ясно, что этот ключ-кодаза не подойдет к тирозиновой тРНК, и наоборот.

Мутация, о которой шла речь, такова, что один из выступов — крайний гуанин в тирозиновой тРНК, "теряется". Точнее, в результате мутации пара Г—Ц заменяется парой А—У, и на этом мы теряем выступ. Легко видеть, что в этом случае к такой мутантной тРНК будут одинаково хорошо под-

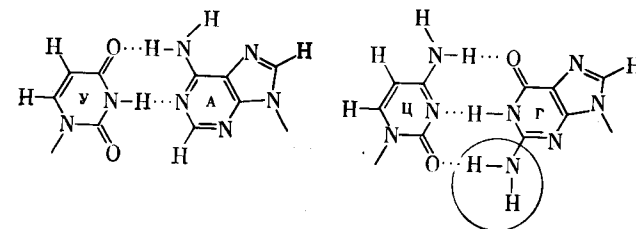


Рис. 4. Пары оснований А—У и Г—Ц. В паре Г—Ц выступ, образуемый аминогруппой гуанина, обведен окружностью

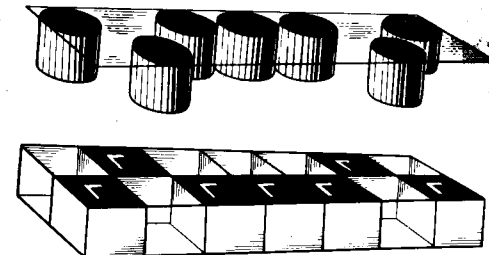
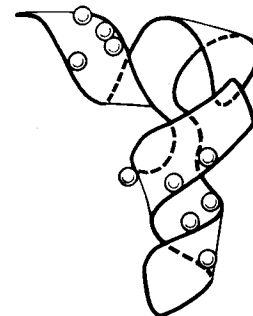
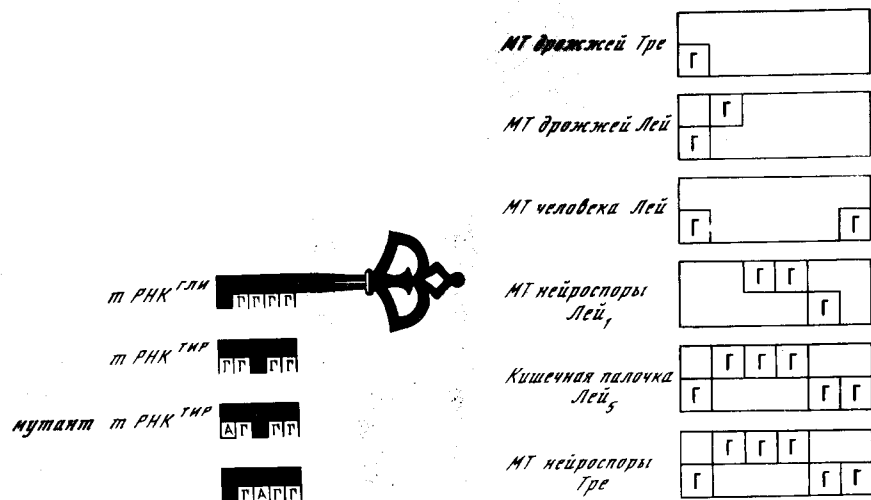


Рис. 5. Узор гуаниновых выступов в молекуле фенилаланиновой тРНК из дрожжей. Другие тРНК характеризуются другими последовательностями оснований; соответственно меняется узор выступов-гуанинов

Рис. 6. Схема, поясняющая гипотезу узнавания тРНК кодазой. Узнающие группы белка нацелены во впадины молекулы тРНК. Рельеф впадин определяется позициями, не занятыми гуанинами.

ходить и ее собственный и чужой ключ [5]. Таким образом, мы видим, как молекулы тРНК, которые достаточно похожи друг на друга, благодаря мутации могут стать еще более схожими. В результате происходит сбой, и на мутантную молекулу тирозиновой тРНК навешивается совершенно чужая, несвойственная ей, аминокислота — глутамин. Таков вероятный механизм изменения генетического кода в случае искусственной неуниверсальности, которая была известна довольно давно, но не привлекала особого внимания.

Теперь следует посмотреть, как выглядят узоры выступов у тех тРНК, которые связаны с изменением кода в митохондриях. В частности, я буду говорить о лейциновых и треониновых. Рис. 8 показывает узоры гуанинов на сегменте из шести концевых пар оснований в этих тРНК из разных организмов. Мы видим, что все узоры представляют собой как бы осколки или фрагменты некоего общего узора (сохраненного в целостном виде у двух нижних тРНК), независимо от того, треониновая это или лейциновая тРНК. Правда, в разных конкретных молекулах тРНК может сохраняться лишь часть этого общего узора. Рисунок демонстрирует, что действительно существует подобное соответствие в расположениях гуанинов у лейциновых и треониновых тРНК самого разного происхождения, т.е. что эти молекулы тРНК достаточно похожи друг на друга с точки зрения кодазы. Поэтому изменение митохондриального кода можно объяснить тем, что Лей и Тре тРНК митохондрий дрожжей оказались похожими, подобно Тир и Глн тРНК в случае искусственной неуниверсальности (см. рис. 7). Когда-то



**Рис. 7.** Искусственное изменение генетического кода в результате мутации в тРНК, специфичной к тирозину. Бородка ключа-кодазы для глутаминовой тРНК имеет вид буквы "Г", для тирозиновой — "Т". Очевидно, что к мутантной тирозиновой тРНК подходят оба ключа-кодазы

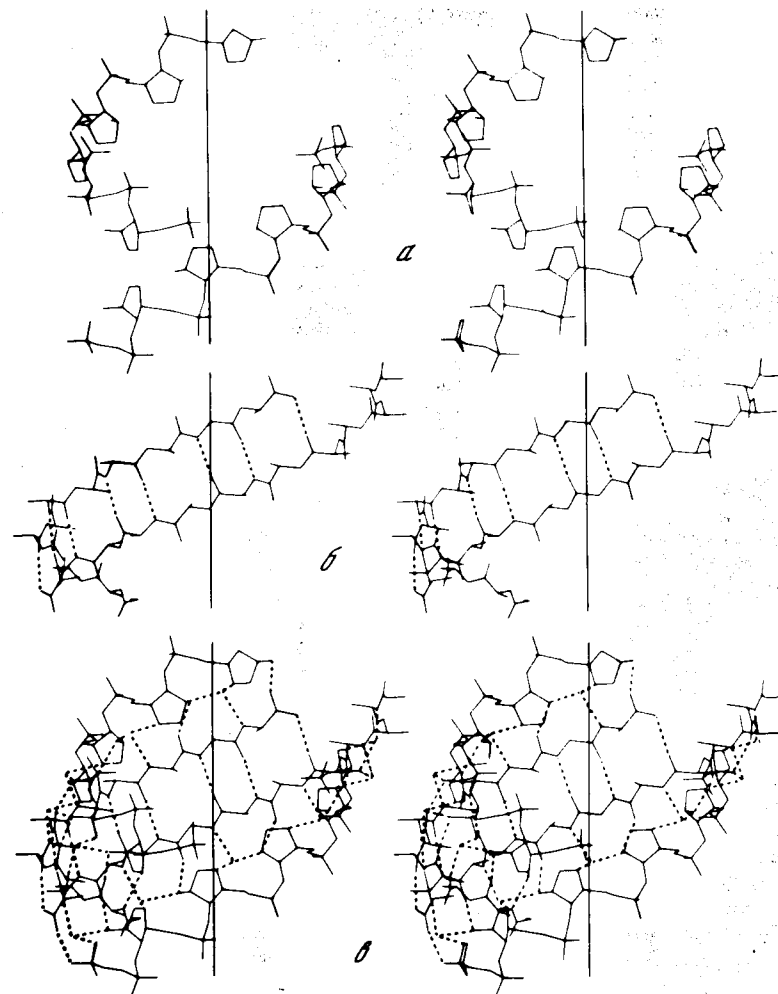
**Рис. 8.** Гуаниновые узоры в конечном спиральном сегменте молекул тРНК из разных организмов, специфичных к лейцину или треонину. В ходе их независимой эволюции узоры менялись так, что терялись те или иные гуанины. Их полный комплект сохранен у двух тРНК, показанных внизу

в ходе эволюции митохондрий произошла мутация, которая сделала эти и без того сходные тРНК еще более похожими, так что чужой ключ начал подходить к несвоему замку — произошло изменение генетического кода.

Теперь перехожу к ответу на вопрос, содержащийся в заглавии. Допустим, мы объяснили, как тРНК узнается кодазой. Какое отношение это имеет к природе генетического кода?

Здесь неожиданно открывается, что рассмотренный механизм узнавания приводит к еще одному коду: коду белково-нуклеинового взаимодействия. Это тоже специфический код, который, подобно генетическому, определяется последовательностью нуклеотидов, хотя и в очень сильно вырожденной форме, потому что важно только следующее: гуанин или негуанин присутствует на данном месте.

Можно думать, что данный обсуждаемый код узнавания — более древний, чем генетический. На заре биологической эволюции, когда еще современный механизм синтеза белка не был создан, уже существовали примитивные комплексы между нуклеиновыми кислотами и короткими пептидами, образование которых управлялось этим существенно более простым, более примитивным, но, главное, стереохимически возможным взаимодействием. Чтобы не быть голословным, приведем рисунок (рис. 9), взятый из статьи Картера и Краута [6], который демонстрирует, как такого рода взаимодействие могло бы осуществляться. На молекулярных моделях они показали, что действительно есть стереохимическое соответствие между двойной спиралью РНК и элементом белка, так называемой  $\beta$ -структурой. Картер и Краут установили, что такая белковая цепочка идеально навивается на двойную спираль нуклеиновой кислоты, причем в согласии с тем, что я говорил, если под этой белковой цепочкой оказывается гуанин,



**Рис. 29.** Стереопара, иллюстрирующая изометричность спирали РНК (а) и  $\beta$ -структуры белка (б). На схеме (а) показан их комплекс. Для простоты пары оснований в РНК и аминокислотные радикалы белка не показаны [6]

то возникает препятствие. За одним исключением. Если над гуанином оказывается аминокислота глицин, то натекания не происходит. Дело в том, что глицин — это самая малая аминокислота; поэтому выступ гуанина для глицина не создает препятствия [4]. И это обстоятельство, возможно, проливает свет на то, почему кодоны, кодирующие глицин, начинаются с двух гуанинов. Может быть, нынешний генетический код в какой-то мере сохранил в себе реально существующее структурное соответствие между белком и нуклеиновой кислотой.

Поэтому мой главный вывод состоит в том, что нынешний генетический код не случаен. Но он не случаен не в физическом смысле, т.е. не потому что есть строгое структурное соответствие между тройками нуклеотидов и аминокислотами. Код не случаен по историческим причинам, поскольку

нынешний генетический код некоторым еще неизвестным нам способом произошел от более примитивного кода, где такое соответствие действительно было [7].

Мы сейчас знаем генетический код и, может быть, догадались о первичном коде РНК-белкового взаимодействия, но, к сожалению, не понимаем промежуточных стадий. Оптимизм внушает то, что этот первичный код, от которого произошел генетический код, по-видимому, не вымер, но сохранился в виде реликта, в некоторых современных белково-нуклеиновых комплексах, в частности в комплексах кодазы с тРНК; только играет он сейчас не роль генетического кода, а служит для взаимного точного узнавания белков и нуклеиновых кислот.

В зависимости от промежуточных стадий итог развития может быть разным. Однако в основе белково-нуклеиновой жизни на других планетах должно лежать то же самое, стереохимическое соответствие нуклеиновой кислоты и белка — первичный код белково-нуклеинового узнавания. Поэтому наследники этого кода — генетические коды, хотя и не обязаны быть тождественными во всей Вселенной, вероятно, должны иметь много общего, точно так же как коды митохондрий лишь незначительно отличаются друг от друга и от "универсального кода".

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Sanger F. — *Bioscience Reports*, 1981, vol. 1, p. 3.
2. Bonitz S.G. et al. — *Proc. Nat. Acad. Sci. US*, 1980, vol. 77, p. 3167.
3. Ghysen A., Celis J.E. — *J. Mol. Biol.*, 1974, vol. 83, p. 333.
4. Ivanov V. — *FEBS Letters*, 1975, vol. 59, p. 282.
5. Иванов В.И. — *Химия и жизнь*, 1975, № 9, с. 41.
6. Carter Ch.W., Kraut J. — *Proc. Natl. Acad. Sci. US*, 1974, vol. 71, p. 283.
7. Иванов В.И. — *Химия и жизнь*, 1981, № 10, с. 32.

УДК 532.783.754/578:61

М.Д. Нусинов, К.Б. Серебровская

### РОЛЬ КАПЕЛЬНО-ЖИДКОЙ ВОДЫ В ПРОИСХОЖДЕНИИ ЖИЗНИ НА ЗЕМЛЕ

До настоящего времени было предложено большое число моделей предбиологических систем, начиная с классических коацерватных капель Опарина [1] и микросфер Фокса [2] до "дживану" Бахадура [3], маригранул Эгами [4] и др. Все они в той или иной степени предполагают зарождение жизни в водах Мирового океана на базе так называемых процессов "самосборки". Однако по современным представлениям [5, 6] процессы самосборки вообще не могут привести к образованию живой субстанции.

Кроме того, последние достижения палеобиохимии все более и более сокращают разрыв между началом геологической и биологической стадии эволюции Земли и относят процесс зарождения жизни к тому периоду, когда на Земле, по-видимому, еще отсутствовали большие массы воды. Так, согласно последним данным, жизнь могла возникнуть на Земле уже  $(4,2-3,9) \cdot 10^9$  лет тому назад [7, 8].

Между тем В.И. Вернадский, Дж. Холдэйн, Дж. Бернал, Н.Г. Холодный и др. [9-12] неоднократно высказывали идеи о возможности возникновения жизни на Земле еще до образования на ней больших масс воды, на

твердой, слегка увлажненной поверхности реголита. Кроме того, чтобы привести к возникновению биологической формы материи, эволюция должна была, по-видимому, начинаться с образования открытых эволюционирующих химических систем.

Нами сделана попытка разработать модель (сценарий) начальной (физико-химической) стадии биологической эволюции. В этой модели за платформу зарождения жизни принимаются зерна реголита примитивной Земли. Предпосылкой этому послужили предположения о сходстве условий на современном Марсе и доактуалистической Земле [13, 14]. Кроме того, наша модель отличается от других моделей тем, что она базируется на процессах самоорганизации, приводящих к образованию из зерен реголита, в результате протекания естественных (спонтанных) физических, физико-химических и химических каталитических процессов, динамически открытых, обособленных от окружающей среды, эволюционирующих каталитических химических систем [5, 6].

Характер протекания начальной стадии биологической эволюции, согласно предложенной модели, близок по своим закономерностям к закономерностям процессов, присущих живой материи, а именно каталитическим реакциям, приводящим к самоорганизации ее структур [15].

В основу нашей модели положена каталитическая функция реголитного зерна, которая может приводить к возникновению сначала "обращенной" мицеллы, а затем и структуры, окруженной двухслойной мембраной, — "липосомы" [16, 17], с включенной внутрь каталитически активной реголитной частицей.

Нами постулируются некоторые специфические условия на поверхности примитивной Земли, согласующиеся с распространенными представлениями об условиях на доактуалистической Земле.

В период, отстоящий от современного более чем на  $4 \cdot 10^9$  лет, земная кора только сформировалась. Согласно большинству гипотез [18, 19], атмосфера планеты содержала, по-видимому,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{H}_2$ , а также малые добавки других газов ( $\text{CH}_4$ ,  $\text{H}_3$ ,  $\text{O}_2$ ,  $\text{CO}$  и др.).

Большинство придерживаются мнения о разреженности первичной атмосферы в этот период (давление  $< 1$  мм рт. ст., или поверхностная плотность  $< 10 \text{ г} \cdot \text{см}^{-2}$ ) [20], дававшей возможность ионизирующим излучениям Солнца (корпускулярным и электромагнитному) и др. космическим излучениям беспрепятственно достигать поверхности планеты [13].

В этот период вода не могла еще существовать на поверхности планеты в капельно-жидком состоянии<sup>1</sup> (тройная точка для воды соответствует давлению  $p_{\text{тр}} = 4,6$  мм рт. ст. и температуре  $T_{\text{тр}} \sim 0^\circ \text{C}$ ) [13, 20]. Она существовала на поверхности планеты либо в виде пара в атмосфере, либо в виде малоподвижного льда или твердой изморози. Поверхность "ювенильной" Земли, по-видимому, напоминала поверхность современного Марса: на ней было много мелкозернистой реголитной пыли, химический состав и физико-химическая структура которой могли, по всей вероятности, быть близкими к гидрофильным набухающим глинам и глинистым минералам (бентониту, монтморилониту, нонтрониту, иллиту или др.) [21]. Как указано в [22], возникновение глин и глинистых минералов было обусловлено главным образом девитрификацией и сопутствующими химическими превращениями стекловатых первичных материалов, образовавшихся в результате ударных или вулканических событий, гидротер-

<sup>1</sup> Этим термином обозначается состояние воды в виде отдельных жидких капель, а затем и водного континуума.

мальных процессов, а также привнесением их на Землю углистыми хондри-тами [7]. Глины, как известно, обладают способностью либо распадаться до гранулярной весьма мелкозернистой структуры ( $d \sim 1$  мкм) в безводных условиях, либо увеличиваться в объеме при набухании в воде и превращаться в гелеподобную массу.

Каждое зерно грунта было пронизано микропорами. Эти микропоры могли образоваться как ламинарной структурой глин, так и в результате длительного ( $\sim 10^6 - 10^8$  лет) облучения грунта поверхности "ювенильной" Земли тяжелыми многозарядными ионами ( $O^{6+}$ ,  $O^{7+}$ ,  $Si^{7+}$ ,  $Si^{8+}$ ,  $S^{9+}$ ,  $Fe^{6+}$ ,  $Fe^{13+}$  и др. с энергиями до 5 кэВ/г) [23]<sup>2</sup> и др. заряженными частицами, ультрафиолетовыми квантами, а также продуктами радиоактивного распада [24]. Такие реголитные зерна под действием интенсивного облучения приобретали своеобразную микропористую газонасыщенную структуру [13, 14].

Поверхностная концентрация трексов могла достигать величин от  $n \sim 10^6$  см<sup>-2</sup> (характерна для земных образцов) до  $n \sim 10^{11}$  см<sup>-2</sup> (характерна для микронных лунных сферул [24]), резко падая к центру зерна. Предполагается, что треки после травления имели цилиндрическую форму и следующие ориентировочные начальные размеры: диаметр  $d \sim 30 - 50$  Å и длину  $l \sim 10^2 - 10^3$  Å. Наличие в треках химических активных центров обуславливало приобретение поверхностными зернами грунта свойств зародышей центров катализа. Однако в отсутствие капельно-жидкой воды каталитические свойства реголитных зерен не могли проявиться.

Эксперименты [25-27] показали, что для получения каталитически активных атомов или ансамблей из 1-3 атомов (согласно Н.И. Кобозеву [25]) на нейтральной подложке (силикагеле, глине и т.п.) необходимы крайне низкие концентрации используемых солей ( $\sim 10^{-3}$  моль/л), их облучение ионизирующим излучением, сравнительно низкие температуры ( $< 100$  °С) и определенная влажность среды. В отсутствие  $H_2O$  распределения атомов по миграционным зонам не происходит; они практически не обнаруживались с помощью применявшихся методов (ЭПР) [27], причем каталитическая активность адсорбента становилась исчезающе малой. Эти данные свидетельствуют в пользу возможности появления у реголитных зерен, подвергавшихся длительное время радиационному облучению в контакте с атмосферой, содержавшей пары воды, таких каталитически активных атомных ансамблей. Общеизвестны также каталитические свойства самих глин и глинистых минералов [28, 29].

"Критический момент" превращения зерен в катализаторы был, по-видимому, связан с появлением в треках капельно-жидкой воды. Вода в капельно-жидком состоянии должна была появиться в треках гидрофильных зерен реголита в результате капиллярной [30] конденсации еще до появления на свободной (открытой) поверхности зерен. При температурах поверхности  $T \sim 0$  °С, но при давлениях  $p < 4,6$  мм рт.ст. энергетически наиболее выгодно нахождение в треках жидкой воды, а не  $CO_2$  и других газов ( $\Delta H_{H_2O} \sim 13,3$  ккал · моль<sup>-1</sup>;  $\Delta H_{CO_2} \sim 7,3$  ккал · моль<sup>-1</sup> и т.п.) [13].

Вода в треках реголитных зерен должна была, по-видимому, быть слабо щелочной (рН  $\sim 7-8$ ) в силу ряда причин: во-первых, из всех содержащихся в первичной атмосфере газов наибольшую растворимость в воде имеет аммиак ( $NH_3 - 711$ ,  $CO_2 - 0,875$ ;  $CH_4 - 0,033$ ) [31]. К числу дру-

гих причин можно отнести выщелачивание водой вещества зерна [24], а также появление на поверхности зерен реголита атомов щелочных металлов, образующихся при процессах ударного улетучивания на поверхностях зерен, в результате конденсации этих атомов из паровой фазы [32].

Следовательно, даже при значительном процентном содержании в атмосфере  $CO_2$  вода могла взаимодействовать с пористыми зернами реголита и создавать внутри трексов щелочные поверхности.

Как только в треках появлялась жидкая вода, должен был начаться медленный процесс травления (т.е. увеличения размеров) трексов. Аналогичный процесс быстрого (минуты, часы) травления трексов осуществляется искусственно в ядерной физике в современных минеральных детекторах излучения [24] с помощью сильных химических травителей ( $HF$ ,  $HNO_3$  и т.п.).

Факт травления трексов мог быть чрезвычайно важным с общезволюционной точки зрения. Так, например, в [33] указывается, что "размер пор (микропор. - Авт.) подстилающих пород и минералов мог быть одним из наиболее важных эволюционных факторов, определявших степень сложности образующихся химических соединений". Поэтому естественно протекавший медленный процесс травления (увеличения размеров) трексов делал со временем возможным образование в них все более и более сложных химических соединений.

Как показано в [34], облучение зерен жестким ультрафиолетовым излучением в сочетании с низкой концентрацией  $O_2$  в окружающей атмосфере и низкой влажностью зерен благоприятствовало сохранению трексов на протяжении длительного (в геологическом смысле) времени ( $\sim 10^9$  лет).

По мере продолжения контакта жидкой воды в треке с веществом зерна она диффундировала внутрь последнего и, встречая на пути замкнутые газонасыщенные полости, вскрывала их в результате действия эффекта Ребиндера (адсорбционного понижения прочности) [35]; заполнявшие их газы ( $O_2$ ,  $CO_2$  и др.) вытеснялись, и внутренние полости трексов заполнялись водой, постепенно растворявшей вещество зерна. По мере того как вода в треке все больше и больше насыщалась растворенным веществом зерна, внутри трека образовывался гелеподобный раствор. Вследствие осмотических свойств такого "геля" (способного "всасывать" до 30-кратных объемов воды) [36] процесс травления продолжался и далее, несмотря на отсутствие еще жидкой воды в окружающей среде.

Одновременно с процессом травления трексов, уже при самых начальных контактах вещества зерен с капельно-жидкой водой, по-видимому, активизировались каталитические центры и начинались химические превращения, а образование гелеподобной структуры внутри реголитного зерна резко усиливалось по механизму, описанному для глин.

По мнению ряда авторов, одним из важнейших свойств глин и глинистых минералов является их способность к ионному обмену. Так, согласно Г. Лису [37], способность почвы адсорбировать и обменивать поглощенные катионы зависит прежде всего от наличия в ней глинистых частиц, причем особое средство глина проявляет к ионам аммония. Следовательно, при появлении насыщенной аммиаком воды в микропорах реголита там могли создаваться условия для синтезов, подобных тем, которые осуществил в своих экспериментах А.А. Титаев [38] на щелочных поверхностях амберлита ИРА-400 или на белой глине.

Такие поверхности могли стать активными катализаторами синтеза длинноцепочечных жирных кислот при наличии в треках уксусной кислоты, синтезированной там ранее в результате реакции, аналогичной реакции, протекающей в живом организме с участием коэнзима А [1].

<sup>2</sup> Это облучение могло бы произойти также на стадии протопланетного облака.

Относительно высокое содержание  $\text{CO}_2$  в составе первичной атмосферы могло способствовать, согласно М. Калвину [39], образованию у вновь синтезированных углеводов полярного конца. Наличие аммиачной воды могло приводить к образованию аммиаатов жирных кислот, имеющих крайне низкую критическую концентрацию мицеллообразования (ККМ) и способных при соответствующих условиях образовывать мицеллы.

Эти поверхностно-активные вещества (ПАВ), обладающие дифильными свойствами, должны были концентрироваться на фазовой границе между водой и атмосферным газом [40].

Следовательно, в условиях общего дефицита воды на поверхности первичной Земли могли возникать структуры, сходные с так называемыми "обращенными" мицеллами (см. рисунок), однако имевшие другой генезис. Такая "обращенная" мицелла обладала не только высокой каталитической активностью, но и была исходно-динамичной благодаря непрерывно идущим в ней химическим каталитическим превращениям.

Известно [16], что "обращенные" мицеллы в органическом растворителе обладают способностью к набуханию (см. рисунок). У мицеллоподобных структур, содержащих внутри зерна реголита, способность к набуханию должна была быть еще большей, так как значительное количество воды могло накапливаться не только внутри мицеллы, но и внутри пор реголитного зерна (см. рисунок).

Увеличение количества жидкой воды внутри "обращенной" мицеллы должно было способствовать росту каталитической активности зерен реголита, что, в свою очередь, могло приводить к накоплению ПАВ и формированию структуры "обращенных" мицелл. Однако, до тех пор пока не появились микролагуны воды в окружающей зерна среде, биологические синтезы могли происходить только внутри "обращенных" мицелл в гелеподобной структуре глинистого раствора.

Капельно-жидкая вода на свободной поверхности зерна появилась в виде микролагуна тогда, когда создались условия, соответствующие тройной точке воды. В ходе появления микролагуна и по мере накопления ПАВ "обращенная" мицелла может, согласно [41, 42], превращаться в бислойное образование, имеющее гидрофильную поверхность (см. рисунок), аналогичное липосоме А. Бенхама [17]. Синтезирующаяся жирная (олеофильная) кислота должна была, также согласно [42], образовывать на поверхности зерен реголита ориентированный мономолекулярный адсорбционный слой. При этом для ориентации в таком адсорбционном слое адсорбирующиеся молекулы вступают своими полярными группами в химическое соединение с атомами металла в кристаллической решетке зерна. Вещество реголита выступает при этом как солеобразующее вещество основного характера, а образующаяся жирная кислота имеет полярную группу, обладающую кислотным характером. При этом полярные группы  $\text{COOH}$  закрепляются на поверхности с образованием двумерных мыл типа  $\text{Me}(\text{OOCR})_n$ , где  $\text{Me}$  — соответствующий металл.

При увеличении концентрации жирной кислоты может образовываться второй адсорбционный слой с обратной ориентацией [42].

Предполагаемая нами динамическая липосома имела, по-видимому, конечную структуру, описанную А. Ленинжером [43], но она возникала не из готового поверхностного монослоя нефти или другого ПАВ под действием ветра (как считает Ленинжер), а за счет активного каталитического процесса, осуществлявшегося внутри самой реголитной гранулы (см. рисунок).

Таким образом, весь процесс самоорганизации (а не "самосборки")

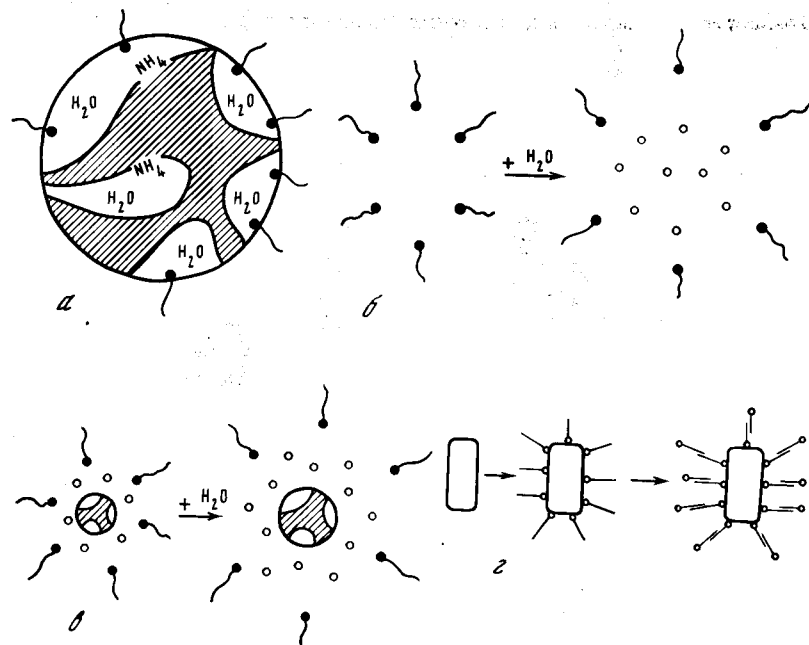


Схема самоорганизации зерна реголита в липосому с двухслойной мембраной  
 а — "обращенная" мицелла; б — набухание "обращенной" мицеллы; в — набухание "обращенной" мицеллы, содержащей внутри зерно реголита; г — схема образования липосомы с двухслойной мембраной

элементарных динамических [44] мембранных систем с катализатором внутри был, по-видимому, тесно связан с насыщением зерна водой в результате процессов набухания и осмоса, усилившегося при появлении на свободной поверхности зерна жидкой воды. Бислойные мембраны таких открытых систем начинали при этом немедленно работать наподобие осмотического "насоса", что способствовало дальнейшему травлению микропор у находящихся внутри липосом реголитных гранул, а также возникновению у описываемых систем первичного мембранного потенциала [45, 46].

Резюмируя изложенное выше, можно сказать, что появление капельно-жидкой воды сыграло, по-видимому, весьма важную роль в происхождении жизни, так как послужило пусковым (триггерным) механизмом для начала спонтанного каталитического процесса, приведшего к самоорганизации первичных открытых глинистых систем и тем самым к началу перехода от химической к биологической эволюции.

Предлагаемая модель может быть формализована и поддается экспериментальной проверке.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Опарин А.И., Гладиллин К.Л. — Успехи биохимии, 1980, т. 21, с. 3.
2. Фокс С. — В кн.: Сборка предбиологических и биологических структур. М.: Наука, 1982, с. 20.
3. Bahadur K. — Zbl. Bakteriол. Parasitenk., 1964, vol. 118, p. 671.
4. Янзгва Х., Эгми Ф. — В кн.: Сборка предбиологических и биологических структур. М.: Наука, 1982, с. 72.
5. Серебровская К.Б. — ЖФХ, 1979, т. 80, с. 108.

6. Кедров Б.М., Серебровская К.Б. — ЖВХО, 1980, т. 25, № 3, с. 252.
7. Tomeoka K., Buseck P.R. — Nature, 1982, vol. 299, p. 326—327.
8. Eglinton G., Henderson-Sellers A.B., Moorbaths S. — Nature, 1981, vol. 292, p. 609; Ponnamperuma S. — Astronautics et Aeronautics, 1976, Nov., p. 50.
9. Вернадский В.И. Размышления натуралиста. М.: Наука, 1977.
10. Haldane J.B.S. — New Biology, 1954, vol. 16, p. 12.
11. Bernal J.D. — The Origin of Life. L.: Weidenfeld et Niclson, 1967.
12. Холлдоний Н.Г. — В кн.: Среди природы и в лаборатории. М.: МОИП, 1949, с. 122.
13. Nussinov M.D., Vekhov A.A. — Nature, 1978, vol. 275, p. 519.
14. Nussinov M.D., Chezyuk Yu.B., Ettinger J.L. — Nature, 1978, vol. 274, p. 876.
15. Опарин А.И., Серебровская К.Б. — ДАН СССР, 1963, т. 148, с. 943.
16. Martinek K., Levashov A.V., Kiyachko N.L. et al. — Biochim. Biophys. Acta, 1981, vol. 657, p. 277.
17. Bangham A.D. — Ann. Rev. Biochem., 1972, vol. 41, p. 753.
18. Meadows A.J. — Planet. Space Sci., 1973, vol. 21, p. 1467.
19. Rasool C.J., C de Bergh. — Nature, 1970, vol. 226, p. 1037.
20. Нусинов М.Д. — Земля и Вселенная, 1980, № 6, с. 57.
21. Banin A. et al. — J. Mol. Evol., 1979, vol. 14, p. 133.
22. Петтиджен Д. Осадочные породы. М.: Недра, 1981.
23. Застенкер Г.Н., Ермолаев Ю.И. — Препринт № 579 ИКИ АН СССР. М., 1981.
24. Fleischer R.L., Price P.B., Walker R.M. — Nuclear Tracks in solids: Principles et Application, Berkeley — Los Angeles — London: Univ. Calif. Press, 1975.
25. Кобозев Н.И. — В кн.: Избранные труды. М.: Изд-во МГУ, 1978, т. 1, с. 75.
26. Кобозев Н.И. — В кн.: Избранные труды. М.: Изд-во МГУ, 1978, т. 1, с. 134.
27. Попович Г.Н. — Вестн. МГУ. Сер. 2, Химия, 1979, т. 10, с. 62.
28. Good W. — J. Theor. Biol., 1973, vol. 39, p. 249; Pinnavaia T.J. — Science, 1983, vol. 220, p. 365—371.
29. Paecht-Horowitz M. — In: Molecular Evolution/Ed. R. Buvet, C. Ponnamperuma. Amsterdam, North-Holland, 1971, vol. 1, p. 245.
30. Fanale F.P., Cannon W.A. — J. Geophys. Res., 1979, vol. 84, p. 8404.
31. Соколов В.А. Газы Земли. М.: Наука, 1966.
32. Nussinov M.D., Visochkin V.V., Feldman V.I. — Moon and Planets, 1982, vol. 26, p. 279.
33. Kuhn H. — In: Proc. synergetics workshop, 1979, vol. 77, p. 200, Springer, Berlin.
34. Lakatos S., Miller D.S. — J. Geophys. Res., 1972, vol. 77, p. 6990.
35. Ребиндер П.А., Щукин Е.Д. — УФН, 1972, т. 108, с. 3.
36. Tanaka T. — Sci. Amer., 1981, vol. 244, p. 110.
37. Lees G. — Thesis P.D. Biochemistry of autotrophic bacteria. London, 1955.
38. Титов А.А. Эволюция органических соединений на Земле. М.: Наука, 1974.
39. Calvin M. — Chemical Evolution. N.Y.; Oxford. Univ. Press, 1969.
40. Овчаренко Ф.Д. — В кн.: Успехи коллоидной химии. М.: Наука, 1973, с. 67.
41. Ничипоренко С.П., Круглицкий Н.Н. — В кн.: Успехи коллоидной химии. М.: Наука, 1973, с. 190.
42. Ребиндер П.А. Избранные труды. М.: Наука, 1978.
43. Lehninger A.L. — Biochemistry. N.Y., 1975.
44. Руденко А.П. — ЖВХО, 1980, т. 25, № 4, с. 390.
45. Ясайтис А.Ав. Сборка предбиологических и биологических структур. М.: Наука, 1982, с. 244.
46. Учас J.M. — Orig. Life, 1976, vol. 7, p. 235.

УДК 007 (800.1+001.51)

И.М. Крейн

## КОНТАКТ "РАЗУМНЫХ" СИСТЕМ

В статье изложены некоторые положения теории контакта "разумных" систем одного класса, разрабатываемой автором в течение ряда лет в Институте кибернетики им. В.М. Глушкова АН УССР.

Предложенный подход к проблеме контакта "разумных" систем принципиально отличается от общепринятой схемы, в соответствии с которой каждая система сравнивает другую с собой или себя с другой системой, что да-

же стало символом проблемы SETI. В отличие от этой схемы на все системы, в том числе и на себя самое, предлагается смотреть через "магический кристалл" теории "разума", построенной для целого класса систем. При таком подходе краеугольным камнем теории контакта "разумных" систем являются понятия "разумная система", "цивилизация", "язык разумной системы", "картина мира системы". Поэтому экспликация этих понятий составляет первый этап разработки теории контакта.

Прежде чем перейти к изложению полученных результатов, мы должны остановиться на одном важном методологическом вопросе. Для современной науки характерно возрастание интереса к философскому и логикометодологическому анализу процесса научного исследования. Если повышение роли методологии свойственно развитию науки вообще, то для такой молодой и комплексной проблемы, как SETI, методология приобретает особое значение. Опыт развития естествознания показывает, что теоретическая зрелость некоторой его области связана с ее способностью рассматривать не только наличное многообразие объектов, но и многообразие, мыслимое с точки зрения фундаментальных законов данной науки, и именно для SETI это является принципиальным решающим фактором, который позволяет ей стать областью науки, а не оставаться искусством или даже просто неким интеллектуальным хобби, к которым ее еще иногда относят. Возможностью рассмотрения теоретически допустимых форм проявления жизни и "разума" снимаются два основных возражения против права этой проблемы на существование: как совершенно справедливое утверждение о недопустимости экстраполяции единственно известной формы проявления жизни и разума, так и методологически ошибочное утверждение о невозможности получить представление о других формах проявления жизни и разума до встречи с ними и необходимости хотя бы двух случаев проявления "разума" для их сравнения и построения классификации. Таким образом, вместо экстраполяции единственно известного варианта проявления жизни и разума, а также описания и классификации фактов, известных из наблюдений, предлагается построение теории и моделирование теоретически допустимых форм жизни и разума, в том числе и той единственной формы, которая уже реализована и известна.

В соответствии с принятыми в математической логике определениями, теория — это перечень названий отношений и свойств этих отношений, а модель — множество, на котором заданы соответствующие отношения и выполнены требуемые свойства [1, разд. 2.1].

Для систем самовоспроизводящихся индивидов, представляющих собой конечные автоматы с ограниченным сроком жизни и нефиксированным набором действий, которые функционируют в стационарных случайных средах, была дана экспликация понятий "разумная система", "цивилизация", "язык разумных систем", "картина мира системы", построены различные варианты конструкции стационарных случайных сред, разработана процедура построения динамической модели развития этих систем до уровня "разумности", построена общая модель "разумной" системы такого типа и модели "разумных" систем, функционирующих в стационарных случайных средах различных конструкций [2—5].

Системы такого типа мы будем называть *антропоморфными*. Общность этих систем, заключающаяся в наличии у них единой природы, позволяет естественным образом сопоставлять их между собой и образовывать из них естественные классы, которые описываются с помощью естественных систем классификации [1, разд. 5.1; 5.2]. Классификация называется естественной, если положение каждого объекта в классификационной схеме позволяет определить его существенные свойства. Естественная

классификация в принципе имеет дело не только с наличной совокупностью объектов, но и с многообразием мыслимых объектов, соответствующих местам, заранее предусмотренным в классификации, но не заполненным по капризу природы или по нашей неосведомленности. Классификация в данном случае предусматривает все логически непротиворечивые комбинации свойств, из которых далеко не все реализуются в доступных нашему наблюдению объектах. Подобные классификации могут строиться на основании описания уже известных объектов, а также на основании чисто теоретических построений, как это имеет место в проводимом нами исследовании.

Как уже отмечалось выше [2, 5], нами были рассмотрены возможные типы структуры, организации и поведения стационарных случайных сред. Сочетание определенного типа структуры, организации и поведения определяет конструкцию среды. Рассмотрев все возможные сочетания значений параметров среды и отобрав из них те комбинации, которые являются логически непротиворечивыми, мы получили перечень теоретически допустимых вариантов конструкции среды. Аналогично этому мы можем рассмотреть все возможные сочетания значений параметров самой системы и отобрать из них те комбинации, которые являются логически непротиворечивыми. На основании этих двух сводных перечней мы можем рассмотреть все возможные комбинации систем заданного класса во всех возможных типах стационарных случайных сред и таким образом построить классификацию, в которой будут представлены *все теоретически допустимые логически непротиворечивые случаи* (см. таблицу). Один из этих вариантов  $S_k(M_i)$  является моделью человеческого общества. В зависимости от близости других систем к этой системе мы будем говорить о *степени антропоморфности* этих систем. Построенная классификация является тем "магическим кристаллом", через который каждая из систем, входящая в класс антропоморфных систем (обозначим этот класс  $\Sigma$ ), будет смотреть как на другие системы, так и на себя самое.

Полученные результаты позволяют перейти к следующему этапу разработки теории контакта "разумных" систем заданного класса — экспликация понятия "контакт" для систем этого класса.

Итак, у нас есть некоторое множество систем заданного класса:  $S \in \Sigma$ . Теорию ( $\Gamma$ ) "разумных" систем этого класса [2, § 1] можно рассматривать как некий абстрактный язык-посредник (ЯП), который обеспечивает принципиальную возможность контакта между "разумными" системами этого класса. Общую модель "разумной" системы заданного класса  $\mathfrak{M}(\Sigma)$  можно считать неким универсальным языком-посредником, который позволяет для каждой из систем данного класса установить, относится ли некая система  $X$  к этому классу. Модели "разумных" систем различных типов в средах различных конструкций  $\mathfrak{M}(S_k)$  можно считать *частными* ЯП. Отнесение системой  $S_i$  системы  $X$  к  $\Sigma$  мы будем считать установлением *контакта первого рода* системы  $S_i$  с  $X$ .

Систему  $S_i$ , которая определяет принадлежность другой системы  $X$  к  $\Sigma$ , назовем *детерминатором*, систему  $X$  — *коммуникатором*, коммуникатор, который сам заявляет о своей принадлежности к  $\Sigma$  — *инициатором*. Возможен еще один случай, когда какая-либо система  $S_i$  предполагает, что она была объектом влияния некоторой другой системы  $X$ . В этом случае она оказывается одновременно как в роли детерминатора, так и коммуникатора, назовем ее *самодетерминатором*. Для решения этого вопроса необходимо построить критерии определения "искусственности" для систем заданного класса. Эти критерии и будут тем ЯП, который система в роли детерминатора применит к себе в роли коммуникатора для реше-

Тип среды	Тип системы							
	$S_1$	$S_2$	...	$S_i$	...	$S_k$	...	$S_m$
$M_1$	$S_1(M_1)$	$S_2(M_1)$	...	$S_i(M_1)$	...	$S_k(M_1)$	...	$S_m(M_1)$
$M_2$	$S_1(M_2)$	$S_2(M_2)$	...	$S_i(M_2)$	...	$S_k(M_2)$	...	$S_m(M_2)$
...	...	...	...	...	...	...	...	...
$M_j$	$S_1(M_j)$	$S_2(M_j)$	...	$S_i(M_j)$	...	$S_k(M_j)$	...	$S_m(M_j)$
...	...	...	...	...	...	...	...	...
$M_l$	$S_1(M_l)$	$S_2(M_l)$	...	$S_i(M_l)$	...	$S_k(M_l)$	...	$S_m(M_l)$
...	...	...	...	...	...	...	...	...
$M_n$	$S_1(M_n)$	$S_2(M_n)$	...	$S_i(M_n)$	...	$S_k(M_n)$	...	$S_m(M_n)$

ния вопроса о наличии элемента искусственности в ее происхождении или развитии. Положительный ответ будет означать существование некоторой системы  $X$ , где  $X$  необязательно входит в  $\Sigma$ .

Рассмотрим выделенные случаи более детально.

Пусть у нас есть система-инициатор  $S_i$ , которая хочет вступить в контакт первого рода с любой системой  $S \in \Sigma$ . Для этого ей нужно воспользоваться универсальным ЯП —  $\mathfrak{M}(\Sigma)$ . Инициатор может использовать и частный ЯП —  $\mathfrak{M}\{S_i(M_j)\}$ . Поскольку человеческое общество можно рассматривать как "разумную" полифункциональную систему в многоуровневой сложной неоднородной комбинированной организованной смешанной неконстантной мозаичной активной стационарной случайной среде [5, § 2], то нас интересует именно эта модель —  $\mathfrak{M}\{S_k(M_l)\}$ .

В организованных неконстантных активных средах, где целесообразность действия может находиться в зависимости от других действий, необходимым условием увеличения целесообразности поведения членов системы является организация коллективного поведения членов системы [5, § 2, 3]. С этой точки зрения можно определить и выделить различные типы поведения членов системы — рационалистический, альтруистический, агрессивный, паразитический, индивидуалистический, эгоистический и др.

Поскольку в организованных средах целесообразность поведения системы увеличивается при организации и оптимизации коллективного поведения, то очевидно, что целесообразность поведения однолинейных индивидуалистических, паразитических, эгоистических и агрессивных систем должна быть существенно ниже, чем у рационалистических и альтруистических систем. Агрессивные и паразитические системы, по-видимому, должны быть обречены на гибель, и поэтому срок их существования должен быть ограничен. Таким образом, тип поведения членов системы является очень существенной характеристикой системы.

Желая вступить в контакт первого рода, система может передать всю свою модель, что должно представлять целую последовательность передач. Система может также передать только один какой-либо параметр модели. Очевидно, что тип поведения членов системы-инициатора должен представлять для системы-детерминатора первоочередной интерес, поэтому сообщение об *альтруистичности* и *рационалистичности* системы может претендовать на *первоочередность*.

Теперь затронем вопрос о возможности использования искусственных систем роботов-манипуляторов для установления контакта первого рода.

Роботы-манипуляторы, которые разрабатывались до сих пор, представляют устройства с независимым поведением, проблема же освоения космоса ставит перед необходимостью создания систем роботов-манипуляторов, т. е. разработки программ, обеспечивающих организацию коллективного поведения членов таких систем. При установлении контакта первого рода роботы-манипуляторы могут найти применение для демонстрации модели системы, прежде всего для моделирования рационального и альтруистического поведения, чтобы сообщить, что система является рационалистической и альтруистической.

Теперь рассмотрим вопрос об определении понятия "искусственности" для систем заданного класса в случае, когда система выступает в роли самодетерминатора.

Для того чтобы обсуждать вопрос о критериях искусственности для систем заданного класса, следует прежде всего выделить те моменты, относительно которых рассматривается этот вопрос. Мы будем определять критерии искусственности относительно *возникновения и эволюции* систем данного класса.

Системы рассматриваемого класса определяются: основным принципом и постулатами развития; конструкцией и набором действий их членов; степенью унификации и типом поведения членов системы; уровнем развития — способами получения нового опыта и сохранения прошлого и организацией поведения членов системы; картиной мира (экспликация этих понятий [2–6]).

Если система была помещена в среду на уровне исходной конструкции ее членов при нулевом опыте с заложенными основным принципом и постулатами развития, мы будем говорить об искусственности возникновения системы в широком смысле. Если система была помещена в среду с заложенным основным принципом и постулатами развития; или на уровне исходной конструкции ее членов, при наличии у них некоторого априорного опыта; или на уровне конструкции ее членов, отличной от исходной, при нулевом опыте; или на уровне конструкции ее членов, отличной от исходной, и при наличии у них некоторого априорного опыта, мы будем говорить об искусственности возникновения системы в узком смысле.

Если последовательность этапов и шагов развития системы, определяемая основным принципом и постулатами развития системы, окажется нарушенной, если из памяти системы — внешней или внутренней — в  $(i + 1)$ -м поколении исчезнет некоторый опыт, имевшийся в  $i$ -м поколении, если в памяти системы — внешней или внутренней — в  $(i + 1)$ -м поколении появится некоторый опыт, который не был получен членами системы ни в этом, ни в одном из предшествующих поколений, если картина мира системы в  $(i + 1)$ -м поколении будет полностью отлична от картины мира в  $i$ -м поколении, если набор действий членов системы в  $(i + 1)$ -м поколении окажется полностью отличным от набора их действий в  $i$ -м поколении, если максимальная прочность некоторого опыта и степень обязательности его получения и реализации в  $(i + 1)$ -м поколении окажутся отличными от этих факторов в  $i$ -м поколении (при неизменности наборов действий), мы будем говорить об искусственности эволюции системы.

Если система была помещена в среду на любом уровне развития конструкции ее членов, при заданной последовательности развития конструкции, с заданными набором действий и организацией опыта во внутренней памяти системы при любом априорном опыте и с заданными правилами организованного коллективного поведения, мы будем говорить о полной искусственности системы.

Мы рассмотрели определение понятия "искусственности" для систем

заданного класса. Для диагностирования факта искусственности в возникновении и эволюции систем необходима разработка специальных процедур, что представляет самостоятельную задачу. Здесь же отметим, что до сих пор работа по проблеме палеоконтактов велась на уровне обсуждения отдельных разрозненных фактов. Разработка критериев искусственности и создание адекватной диагностирующей процедуры может явиться первым шагом на пути серьезных исследований по проблеме палеоконтактов.

Принципиально важным является то обстоятельство, что получение положительного ответа об искусственности в возникновении и развитии системы, являющееся подтверждением существования некоторой цивилизации (причем не обязательно антропоморфной и не обязательно еще существующей), свидетельствует о том, что доказательство "теоремы существования" в проблеме CETI оказывается возможным без поиска "иголки в стоге сена" (см. доклад Дж. Тартер в наст. сб.).

До сих пор речь шла о контакте первого рода. Моделирование системой  $S_i$  картины мира системы  $X$  мы будем называть *контактом второго рода* (экспликация понятия "картина мира" [5, § 2]).

В заключение рассмотрим один случай контакта, иллюстрирующий изложенное выше. В [7] мы уже предлагали рассматривать проблему исследования дельфинов как проблему контакта с неизвестной цивилизацией. Теперь мы можем сформулировать эту задачу в терминах теории контакта. Как было показано в [2, 6], необходимым условием достижения уровня "разумности" является неограниченное накопление действий, которое может быть реализовано только через внешнее, т. е. не связанное со сроком жизни системы, накопление действий. Имеющиеся сведения об образе жизни дельфинов не дают оснований предполагать у них такую возможность (хотя о жизни дельфинов в естественных условиях известно очень мало), откуда следует, что уровня "разумности" они, очевидно, не достигли. Однако в силу особенностей их образа жизни — постоянное передвижение в трехмерном пространстве — даже при ограниченности накопления действий только внутренним накоплением, они могут иметь возможность значительного увеличения числа действий, что должно позволить достигнуть достаточно высокого уровня развития.

Поскольку коммуникатор является системой, не достигнувшей уровня "разумности", одной модели данной системы в данной среде в качестве частного ЯП не достаточно, для установления контакта необходима еще динамическая модель развития такой системы до уровня "разумности". На основании разработанного алгоритма построения динамической модели развития систем заданного класса до уровня "разумности" [4, 5], который определяет последовательность этапов развития системы, можно построить динамическую модель для данной системы. Эта модель и будет тем частным ЯП первого рода, на основании которого должен строиться ЯП второго рода — картина мира коммуникатора. Только после этого возможна разработка диагностирующего ЯП для проведения экспериментального исследования, позволяющего установить уровень развития дельфинов (исследование, основанное на фрагменте такого ЯП, проводилось сотрудником нашей группы А.В. Зарецким в эксперименте с детьми [8]). Независимо от того, какого уровня развития дельфины достигли в действительности, корректная постановка задачи определения уровня их развития и реализации этой программы явились бы важным шагом в разработке проблем CETI и SETI.



1. Шрейдер Ю.А., Шаров А.А. Системы и модели. М.: Радио и связь, 1982, с. 152.
2. Крейн И.М. Опыт построения модели развития систем одного типа до уровня "разумности": Препринт ИК АН УССР № 77-64. Киев, 1977, с. 48.
3. Krein I.M. — In: XVIII Congress of the International Astronautical Federation. IAF-A-77-50, Paris, France, 1977, p. 14.
4. Krein I.M. — In: XXX-th Congress of International Astronautical Federation. 78-A-44, Moscow, 1978, p. 19.
5. Крейн И.М. "Разумные" системы в стационарных случайных средах различных типов: Препринт ИК АН УССР № 81-14. Киев, 1980, с. 23.
6. Крейн И.М. — В кн.: Проблема поиска внеземных цивилизаций. М.: Наука, 1981, с. 172—185.
7. Крейн И.М. — Вестн. АН УССР, 1970, № 6, с. 37—41. На укр. яз.
8. Зарецкий А.В. — В кн.: Некоторые вопросы проблемы контакта человека с высокоорганизованными системами: Препринт ИК АН УССР № 78-69. Киев, 1978, с. 39—43.

УДК 008:524.8+612.821.3

О.А. Чукреева

### ОБ ОДНОМ УРОВНЕ ПОСТРОЕНИЯ ЯЗЫКОВ-ПОСРЕДНИКОВ

Проблема языка-посредника (ЯП) для установления космического контакта — одна из важнейших в комплексе проблем СЕТИ. Теоретического и экспериментального решения ждут многие вопросы, связанные с проблемой ЯП, в том числе и вопросы семантики ЯП для космической коммуникации, осуществляемой при помощи сигналов. Семантическому аспекту проблемы ЯП и посвящена предлагаемая работа.

Принципиальное решение вопроса о том, в каких случаях может быть достигнуто понимание между двумя "разумными" системами при космическом контакте, может быть получено только в рамках теории контакта "разумных" систем [1, 2 и др.]. Теоретические построения могут быть иллюстрированы специально организованным экспериментом, в котором моделируются те или иные ситуации контакта с использованием ЯП разных типов.

Разработку проблемы естественно начинать с языка Линкос [3] — первого искусственного ЯП, представляющего стройную и законченную систему и рассчитанного на обучение космического адресата. Этот опыт должен быть осмыслен и занято свое место в истории исследований СЕТИ. По замыслу Г. Фрейдентала, сообщение на Линкосе предназначено адресату, разумному в человеческом смысле. Таким образом, Линкос рассчитан на встречу коммуникантов-двойников (по терминологии И.М. Крейн [2], двойники — это системы с тождественным понятийным членением среды). Ключом к дешифровке служит автономное изображение числа соответствующим количеством одинаковых фигур; последующие знаки тоже в большей или меньшей степени автономны<sup>1</sup>.

Нами было проведено экспериментальное моделирование ситуации установления контакта при помощи языка Линкос [4—6]. Сообщение было составлено из фрагментов первых "уроков" Линкоса, содержащих простейшие числовые соотношения, и предложено для осмысления испытуемым

разных специальностей. Знаки Линкоса кодировались геометрическими фигурами разного цвета и последовательно демонстрировались испытуемым через фильмоскоп или предъявлялись в виде записи на бумажной ленте. Необычность задачи, предлагаемой испытуемому, приближала в его восприятии экспериментальную ситуацию к ситуации гипотетической встречи с разумными сигналами из космоса. Предъявлению сигналов предшествовала инструкция, варианты которой отличались по степени информативности: если "сильная" инструкция моделирует ситуацию приема заведомо разумных сигналов из космоса: "Поступили сигналы, посланные разумными существами какой-то отдаленной планеты с целью связаться с нами...", то "ослабленная" в принципе допускает прием сигналов естественного происхождения: "Нами был принят ряд сигналов. Постарайтесь их расшифровать..." С помощью "слабой" инструкции моделируется ситуация встречи с непонятным явлением неизвестного происхождения, о котором даже неизвестно, в какой степени оно может быть информативно: "Постарайтесь понять, что это такое..." Это аналогично, например, ситуации встречи со следами палеоконтакта. Обращает на себя внимание резкое падение процента правильных (т. е. соответствующих исходному) вариантов осмысления сообщения при "ослаблении" инструкции (69% при "сильной" инструкции, 10% — при "ослабленной"), отражающее тот факт, что неопределенность информации о сообщении, например неизвестность в отношении искусственности сигналов, приводит к существенному затруднению в поиске интерпретации [5].

Следует иметь в виду, что испытуемые в эксперименте работали индивидуально и, кроме того, не были профессиональными дешифровщиками. Это сказалось на их результатах, однако некоторые характеристики их процесса осмысления можно, по-видимому, экстраполировать на гипотетическую ситуацию дешифровки принятых космических сигналов.

Проведенный анализ показал, что в исследуемой ситуации контакта перед человеком возникает ряд сложных семиотических задач [5], на которых мы не будем останавливаться подробно. Следует отметить также интенсивную и сложную рефлексивную деятельность испытуемых в процессе осмысления знаков Линкоса, что соответствует предположениям о роли рефлексии в гипотетическом космическом контакте.

Возникшие у некоторых испытуемых сомнения в разумности сообщения были вызваны такими характеристиками текста, как простота и очевидность закономерностей в его структуре и автономное изображение числа. Отсюда следует несколько парадоксальный вывод о том, что даже для адресата, идентичного отправителю, некоторые характеристики текста, намеренно введенные Г. Фрейденталем с целью облегчить установление контакта и понимание, оказались препятствием — они функционировали прямо противоположным образом. Этот факт следует иметь в виду при обсуждении критериев искусственности сигналов.

Предположение Г. Фрейдентала о возможности правильного членения сообщения на Линкосе адресатом-человеком вполне оправдалось, если под членением понимать только разбиение текста на значимые фрагменты [6], но членение интерпретируется в соответствии с выдвинутыми испытуемым гипотезами о знаковой системе — языке текста, что часто приводит к совершенно разным представлениям о синтаксической структуре текста при одном и том же разбиении текста на значимые фрагменты и, следовательно, к разным результатам осмысления. Для достаточно примитивного по структуре сообщения на Линкосе испытуемые предложили более ста вариантов интерпретации, используя языки разных типов: языки, по степени сложности сопоставимые с естественными, числовая запись, икониче-

<sup>1</sup> На известное в математической логике и семиотике понятие "автономии" в связи с проблематикой СЕТИ обратил внимание Б.Н. Пановкин.

ские изображения, формулы, аналоговое представление некоторого процесса, условные коды.

Разумеется, эксперимент, проведенный внутри единственной известной разумной системы, не решает окончательно вопроса о возможности использования Линкоса и языков такого типа в космическом контакте. Вся глава "Математика" из книги Г. Фрейденталя, представленная в нашем способе кодирования, была понята земными математиками даже без предварительной демонстрации натурального ряда чисел [4]. Отсюда следует, что система-двойник может понять автономные структуры такого типа и обучиться Линкосу. Но существование космических двойников крайне маловероятно [2]. Если же системы-коммуниканты не будут двойниками, использование понятных космических языков типа Линкоса не оправдано — это следует из положений теории контакта "разумных" систем И.М. Крейн. Необходима разработка ЯП для космических контактов, основанная на других принципах.

Нами была предпринята опытная разработка фрагмента одного из таких языков [7], основанная на некоторых принципах теории контакта "разумных" систем И.М. Крейн. Основная идея заключается в том, чтобы сделать содержанием космического сообщения некоторые общие для всех "разумных" систем заданного класса принципы функционирования, которые можно считать инвариантами поведения. Возможность достичь понимания в этом случае базируется на том, что одна система-коммуникант, обладая моделью "разумных" систем своего класса, заведомо может рефлексировать принципиальную схему поведения другой системы-коммуниканта того же класса (при условии, что обе системы желают вступить в контакт). То, что именно система может рефлексировать и моделируется языком-посредником на основании общей модели "разумных" систем заданного класса. На данном этапе исследования в экспериментальном фрагменте ЯП были воплощены следующие принципы модели: целенаправленная передача опыта, получение нового опыта путем формирования представлений об окружающей среде и функционирование индивидов в соответствии с принципом целесообразности поведения.

Была разработана модель ситуации установления контакта при использовании ЯП такого типа (см. рисунок). Содержанием сообщения, передаваемого системой  $S_1$  системе  $S_2$ , предлагается сделать процесс передачи опыта, в частности демонстрацию коммуникации "учителя" и "ученика" в момент обучения. Обратим внимание на тот факт, что содержанием сообщения мы хотим сделать не фрагменты некоторых знаний системы  $S_1$ , а сам факт передачи опыта. Тем самым в данном случае моделируется более общий случай контакта, так как  $S_1$  и  $S_2$  не обязаны быть двойниками.

Для любого обучения обязательна оценка верности понятого — обратная связь. Она осуществляется "учителем" и моделирует реакцию среды — положительную или отрицательную. Обучающийся индивид умеет ее воспринимать, поскольку его функционирование определяется принципом целесообразности поведения: он корректирует свое поведение, ориентируясь на реакцию среды. Оценка "учителем" действий "ученика" обеспечивает имитацию обратной связи между системами-коммуникантами: система  $S_2$  учится, наблюдая обучение.

Существенно то, чему должен учить в такой ситуации "учитель" "ученика". Мы исходим из постулата о том, что любой общий для двух систем фрагмент понятийного членения можно превратить в основание для установления контакта. Его трудно найти путем угадывания, разумнее попытаться построить непосредственно при установлении контакта, организовав

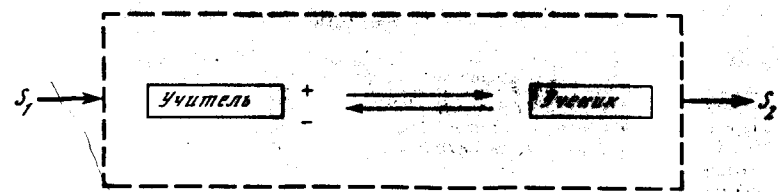


Схема моделируемой ситуации контакта

процесс обучения как формирование новых представлений у "ученика". Для моделирования процесса обучения в эксперименте оказалось необходимым использовать специально разработанную методику, по которой признаки формируемого представления не задаются, а вычленяются самим обучающимся индивидом в процессе осмысления [8, 9], в отличие от многочисленных методик, опирающихся на жестко заданные признаки, которые тем или иным способом комбинируются. В ситуации космического контакта нельзя рассчитывать на правильное угадывание заданных признаков, так как это предполагает совпадение членений у систем-коммуникантов. Используемая в эксперименте методика построена таким образом, что то, какие именно признаки используются, несущественно; правильная стратегия определяется достаточно простым принципом следования карточек с одинаковыми или разными изображениями, согласно которому существенным является одинаковость-неодинаковость изображений. Признаки такого рода "разумными" системами заданного класса заведомо распознаются [1].

Установление контакта при использовании опытного фрагмента ЯП было промоделировано в эксперименте [7]. Целью эксперимента не была проверка данного фрагмента ЯП с точки зрения возможности установления контакта: опытный фрагмент ЯП разрабатывался с целью предварительного исследования тех семантических принципов, которые представляются наиболее адекватными для ЯП в соответствии с теорией контакта "разумных" систем. Экспериментальное моделирование ситуации установления контакта при использовании такого ЯП, представляющего собой сообщение усложненной и рассчитанной на адекватную рефлексии структуры, позволяет исследовать эту ситуацию, произвести дискретизацию процесса установления контакта в данном случае, а также путем последовательной редукции параметров эксперимента эксплицировать наиболее трудные для понимания моменты.

В первой серии экспериментов последовательной редукции подвергалась инструкция (в таблице части инструкции, отсекаемые при редукции, отделены двойной линией). Редукция необходима для приближения экспериментальной ситуации к моделируемой ситуации контакта. Существенное нарушение понимания при редукции инструкции ставит задачу найти компенсацию этому явлению за счет других параметров эксперимента, например, сценария. Ряд новых сценариев был разработан во второй серии эксперимента; особый интерес представляет вопрос о репрезентации в сценарии способа поощрения — "оценки", а также ролей участников эксперимента: "учителя" и "ученика". Замена оппозиции "черное—белое" в оценке оппозицией "желтое—красное", а тем более специальными значками ( $\alpha$ ,  $\beta$ ), привела к непониманию испытуемыми того факта, что демонстрируется обучение. Отнюдь не однозначно воспринимались роли "учителя" и "ученика": если было нарушено правильное понимание "оценки", "учитель" и "ученик" в восприятии испытуемого могли меняться ролями, действие и реак-

Параметры инструкции							
Последовательные стадии редукции	Приглашение испытуемого к определенным действиям	Название объекта демонстрации	Указание на роли участников	Указание на закономерность как цель обучения	Объяснение способа поощрения (роль фишек)	Указание на цель работы испытуемого	Неизменная часть инструкции
1	Вам будет демонстрироваться... Вам будет показан...	...эксперимент... ...ничто...	...в котором один участник обучает другого...	...закономерности	Белая фишка обозначает "правильно", черная — "неправильно"	После демонстрации попросим Вас объяснить, за что дают белые фишки...	Потом Вам будет предложено занять место каждого из участников... Если по ходу демонстрации у Вас будут появляться соображения, просим их высказывать вслух...
2	То же	То же	То же	То же			
3	"	...один эксперимент...	"				
4	"	То же					
5	"						

1. Крейн И.М. Опыт построения модели развития систем одного типа до уровня "разумности": Препринт ИК АН УССР № 77-64. Киев, 1977. 48 с.
2. Крейн И.М. — В кн.: Проблема поиска внеземных цивилизаций. М., 1981, с. 172—185.
3. Freudenthal H. Lincos. — In: Design of a language for cosmic intercourse. Amsterdam: North-Holland Publishing Company, 1960. 270 p.
4. Крейн И.М. — В кн.: Материалы III Всесоюз. симпозиума по психолингвистике. М., 1970, с. 99—101.
5. Чукреева О.А. — В кн.: Некоторые аспекты проблемы понимания/Под ред. В.И. Скурихина: Препринт ИК АН УССР № 78-73. Киев, 1978, с. 3—30.
6. Чукреева О.А. — Структурная и мат. лингвистика. Киев, 1977, № 5, с. 110—116.
7. Зарецкий А.В., Чукреева О.А. — В кн.: Всесоюз. науч.-техн. конф. "Проблемы космической радиосвязи": Тез. докл. М., 1979, с. 90—91.
8. Крейн И.М. — В кн.: Тр. IV Междунар. объедин. конф. по искусственному интеллекту: Доп. материалы. М.: ВИНТИ, 1975, с. 144—151.
9. Комарова Т.Н. — В кн.: Некоторые вопросы проблемы контакта человека с высокоорганизованными системами/Под ред. В.И. Скурихина: Препринт ИК АН УССР № 78-69. Киев, 1978, с. 21—38.

ция воспринимались как обратимые операции. Данные эксперимента со всей очевидностью свидетельствуют, что восприятие человеком сложного и непонятного явления, несущего определенную информацию, каким только и может быть космическое послание, — это одна из наиболее трудных проблем, касающихся восприятия человеком знака. Незнание человеком самых привычных на первый взгляд вещей, если они представлены в необычной форме или в необычной ситуации, создает пока непреодолимые трудности в разработке текста для космического послания, который бы надежно обеспечивал дешифровку. Представляется необходимым как теоретическое, так и экспериментальное исследование такого обобщающего понятия, как семиотический опыт человека. Объективация (в психологическом смысле) семиотических представлений человека и создает условия для осмысления им неизвестной знаковой формы.

Исследования по проблеме ЯП не должны сводиться, однако, только к исследованию конкретных языков. Разработка и функционирование ЯП, а также процесс коммуникации при использовании естественных или искусственных ЯП — это проблемы, сопряженные с традиционными лингвистическими и психологическими проблемами. По-видимому, многое из накопленного данными науками может быть с успехом применено при выработке теории ЯП, которая по отношению к данным наукам будет выступать как прикладная дисциплина.

# МЕТОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ ПОИСКА РАЗУМНОЙ ЖИЗНИ ВО ВСЕЛЕННОЙ

УДК 523.07+523.164

Л.М. Гиндилис

## ПУТИ ПОИСКА ВНЕЗЕМНЫХ ЦИВИЛИЗАЦИЙ

Задача настоящей работы — дать краткий обзор основных направлений поиска внеземных цивилизаций (ВЦ), который мог бы служить введением к дискуссии по данной проблеме.

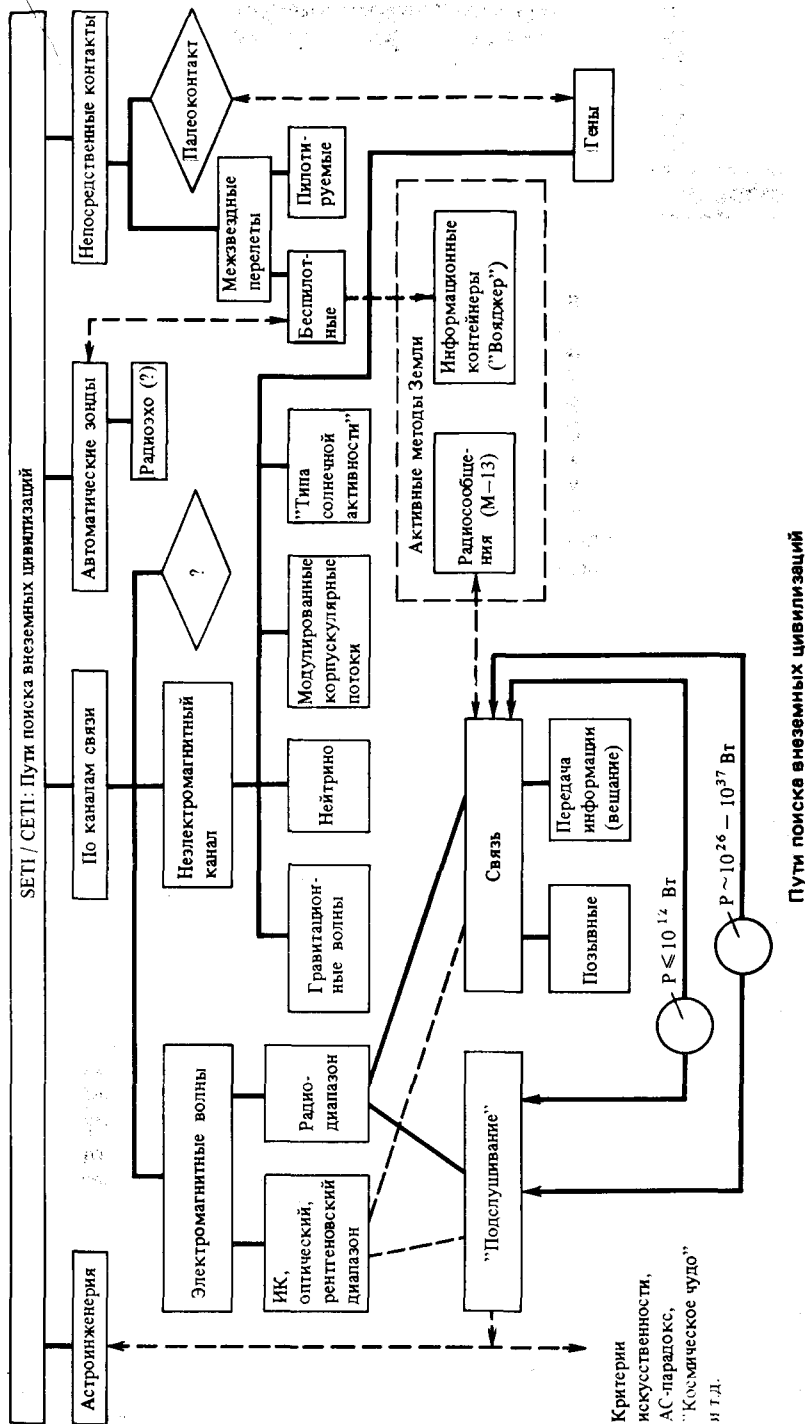
На рисунке я попытался изобразить направления поиска, как они вырисовываются в настоящее время. Возможно, наши современные взгляды в этой области претерпят кардинальные изменения уже в недалеком будущем.

Действительно, если мы обратимся к истории, то убедимся, что представления о путях поиска ВЦ изменялись с течением времени под влиянием ряда факторов, таких, как характер общественного сознания, парадигма, уровень развития науки и техники.

Представления о том, что Вселенная обитаема, были широко распространены в глубокой древности. Можно назвать много замечательных имен античных мыслителей от Анаксагора до Лукреция Кара. Такие же взгляды содержатся и в древнейших учениях Индии, Китая, Египта. Эти взгляды зачастую выражались в религиозно-философской форме, что вполне естественно, ибо в те далекие времена религия была господствующей (если не единственной) формой идеологии. Для современного исследователя наибольший интерес представляет сущность древних воззрений, а не форма их выражения. В этом плане, с точки зрения СЕТИ, наиболее интересны концепции, согласно которым боги должны были пройти через человеческую эволюцию (нет бога, который бы раньше не был человеком). Это наводит на мысль о высокоразвитых существах Вселенной, находящихся на различных стадиях эволюционного процесса. Естественно, что тогда вопрос о поисках ВЦ не ставился. Самого термина ВЦ в то время не существовало. А что касается богов, то люди были убеждены, что они принимают участие в судьбах Земли.

Совершенно другая картина наблюдалась в средние века, когда церковь канонизировала идею об исключительности человеческого рода. Конечно, это не вытекало из существа религиозной доктрины, и многие богословы критиковали эту идею с теологических позиций. Однако она находила поддержку (в также канонизированной) астрономической картине мира, опирающейся на геоцентрическое учение. Поэтому главная роль в преодолении идеи об уникальности Земли выпала в то время на долю науки.

После революции в астрономии, произведенной Коперником, идея множественности обитаемых миров очень быстро распространилась в Европе, получив полное и всеобщее признание. Что касается путей поиска ВЦ или, точнее, путей коммуникаций (ибо о поисках в то время не говорили), то если не считать нескольких предложений о создании тем или иным способом геометрических знаков на поверхности Земли, которые могли бы



наблюдаться из космоса (своего рода позывные), то в качестве основного направления рассматривались непосредственные контакты или взаимные посещения. При этом выдвигались самые невероятные, порою совершенно нереальные способы достижения иных миров, начиная от использования птиц, воздушных шаров и до известного проекта "из пушки на Луну".

Возможность межпланетных сообщений была научно обоснована К.Э. Циолковским в начале нашего века, и спустя несколько десятилетий воплотилась в жизнь. Проблема межзвездных путешествий гораздо более сложна. Это одно из направлений, которое развивается как в рамках поиска ВЦ, так и безотносительно к данной проблеме. Оно связано главным образом с разработкой релятивистской теории межзвездных полетов. В этой области имеется обширная литература (см. библиографию [1—3]). В плане поиска ВЦ данное направление занимает пока скромное место.

На первый план начиная с 50-х годов нашего века выдвинулось направление, связанное с поисками радиосигналов. Поскольку радиотелескопы, как это было показано Дж. Коккони и Ф. Моррисоном [4], уже в 50-х годах были способны зарегистрировать сигналы, посланные с межзвездных расстояний, — впервые в истории науки открывалась перспектива постановки исследований и опытов по обнаружению сигналов ВЦ. Это и привело к современной постановке проблемы SETI. Первые работы по поиску радиосигналов были выполнены в 1960 г. в США Ф. Дрейком (проект "Озма") [5], а затем В.С. Троицким в Советском Союзе [6]. К настоящему времени в СССР, США и других странах проведено несколько десятков экспериментальных поисковых работ по обнаружению сигналов в радиодиапазоне. Подробный обзор этих экспериментов содержится в докладе Дж. Тартер (см. с. 170 наст. сб.).

С самого начала в поисках радиосигналов намечались два направления: 1) попытка поймать сигналы, предназначенные для внутренних нужд ВЦ (подслушивание); и 2) поиск сигналов, специально предназначенных для установления связи. В последнем случае выделяются две задачи: прием информативной передачи (космическое радиовещание) и поиск позывных. Кроме того, в обоих случаях стратегия поиска сильно зависит от наших предположений о характере и уровне развития ВЦ. Здесь также намечались два подхода и соответственно две стратегии поиска. Первый подход ориентируется на поиск сверхцивилизаций, располагающих мощностями, сопоставимыми с энергетическим выходом звезд, галактик, квазаров; второй ориентируется на уровень, близкий нашей земной цивилизации.

Разнообразие исходных посылок приводит к различным представлениям о стратегии поиска. Принимая во внимание неопределенность наших знаний, было бы ошибочным канонизировать какое-то одно направление. Необходимо проводить самый широкий поиск, в рамках которого каждый разумно обоснованный проект заслуживает внимания и поддержки (и права на исполнение). Если даже в градостроительстве, несмотря на стремление к унификации, допускаются различные решения и различные проекты, то тем более это должно относиться к такому грандиозному предприятию, как поиск внеземных цивилизаций.

В том же духе, я думаю, следует подходить и к использованию других диапазонов электромагнитных волн, в первую очередь оптического. Возможность использования волн оптического диапазона для связи между космическими цивилизациями впервые была рассмотрена Таунсом и Шварцем [7]. В последние годы этот вопрос более детально анализировался В.Ф. Шварцманом, который предложил новый, оригинальный метод, основанный на анализе сверхбыстрой оптической переменности [8]. Под его руководством в CAO АН СССР разработан специальный комплекс аппарату-

ры и предприняты попытки поиска подобных сигналов с помощью шестиметрового телескопа БТА [9]. Использование оптического диапазона имеет как некоторые преимущества, так и определенные недостатки по сравнению с радиоизлучением. Основные достоинства оптического канала: высокая пропускная способность и легкость осуществления остронаправленной передачи. Это делает его малоэффективным для передачи позывных (где не так важна пропускная способность и не требуется слишком острая направленность), но зато он весьма эффективен для информативной передачи. Поэтому позывные ВЦ целесообразно искать в радиодиапазоне, а для поиска информативной передачи возможно следует использовать оптический или даже рентгеновский диапазон спектра.

Принципально возможно использование иных физических носителей сигнала, помимо электромагнитных волн: нейтрино [10], гравитационные волны [11], модулированные корпускулярные потоки. (Последняя идея была высказана А.А. Ляпуновым в ответе на анкету SETI, Бюракан, 1971 г. и затем Джонсом [12]. Подробное обсуждение немикроволновых каналов SETI содержится в докладе М. Суботовича и З. Папротного (см. с. 161 наст. сб.). Подобные проекты пока целиком относятся к умозрительной сфере, однако теоретические разработки в этой области, несомненно, представляют интерес.

Еще более сложные проблемы возникают в связи с возможностью использования ВЦ каналов связи, основанных на пока неизвестных нам законах природы. Существование неизвестных, еще не познанных нами законов природы, представляется несомненным, ибо альтернативная точка зрения означала бы, что мы познали полностью неисчерпаемый материальный мир.

Поэтому вполне резонно ожидать, что иные цивилизации могут использовать методы связи, о которых мы не имеем никакого понятия. Признание этой ситуации приводит к своеобразной трудности. С одной стороны, возможность существования иных каналов связи, оставаясь чисто абстрактной возможностью, не позволяет предпринять никаких конструктивных шагов к ее реализации. С другой стороны, она играет негативную роль, увеличивая риск отрицательного результата при поиске по обычным (известным) каналам. Это, в свою очередь, усиливает психологические трудности, вызванные неуверенностью в исходе, и сдерживает широкое развитие исследований, без которого трудно рассчитывать на успех поисков. Я думаю, было бы неверно, ссылаясь на существование непознанных закономерностей, отказываться от исследования известных каналов связи. Но надо постоянно иметь в виду иные возможности как в плане готовности использовать их для целей SETI, когда они станут достоянием науки, так и при оценке результатов поиска. Что касается психологических затруднений, то здесь некоторую (положительную) роль в их нейтрализации может сыграть удачное сочетание программ поиска с решением определенных астрофизических задач. В этом отношении имеется ряд хороших примеров (В.Ф. Шварцман и др. [8, 9], Г. Верскер [13], Р. Диксон и др. [14]). Но, конечно, такое сочетание не всегда возможно, ибо задача поиска сигналов ВЦ не адекватна задачам астрофизических исследований. Надо ясно осознать эту ситуацию и проявить полную готовность к длительным терпеливым исследованиям, соизмеримым с величиной стоящей перед нами задачи. Я думаю, было бы большой ошибкой рассчитывать на быстрый и легкий успех. Такой неоправданный расчет может привести лишь к преждевременному и столь же неоправданному разочарованию.

К поиску сигналов ВЦ близко примыкает направление, связанное с поисками следов астроинженерной деятельности. Особенно близко оно смыкается с "подслушиванием" сигналов, так как в обоих случаях речь

идет о попытках обнаружить цивилизацию по ее проявлениям, независимо от того, желает ли она заявить о своем существовании.

Анализ этих направлений (астроинженерия и "подслушивание") привел к постановке вопроса о критериях искусственности и к формулировке АС-парадокса — астросоциологического парадокса (парадокс "космического чуда" или парадокс "молчания Вселенной"). Для его объяснения выдвигаются различные, в том числе весьма радикальные концепции. Например, концепция уникальности, или представление о том, что наша цивилизация является самой передовой, самой развитой во Вселенной. Обсуждение этих концепций (с которыми я совершенно не согласен) не входит в задачу настоящего доклада. Я хочу лишь подчеркнуть, что сама формулировка АС-парадокса является преждевременной. С одной стороны, проведенные эксперименты не дают оснований для его выдвижения, так как в этой области сделаны пока только первые шаги, и даже в рамках более узкой задачи — поиска радиосигналов — не предпринимались планомерные систематические исследования, без которых трудно рассчитывать на успех поисков. С другой стороны, в основании АС-парадокса лежат весьма упрощенные представления о характере развития ВЦ, которое мыслится лишь как чисто количественный рост; не учитывается возможность принципиальных качественных скачков в развитии цивилизаций; не учитывается возможность использования для внутренних коммуникаций ВЦ средств и методов, которые не приводят к бесполезному рассеянию огромной энергии в космическое пространство (т.е. могут использоваться что-то вроде наших кабельных или радиорелейных линий, световодов и т.п.).

Как уже отмечалось выше, одно из традиционных направлений поиска ВЦ связано с изучением возможностей непосредственного контакта. Это проблема межзвездных перелетов с применением пилотируемых кораблей (с экипажем) или беспилотных автоматических зондов. Идея использования зондов была выдвинута Брейсуэллом в 1960 г. [15] и стимулировала целый ряд работ в этом направлении (см., например, библиографию [1], разд. 07.06).

Размышление над проблемами непосредственного контакта приводит к постановке вопроса о возможности посещения Земли в прошлом и настоящем представителями высокоразвитых ВЦ. Применительно к прошлому этот вопрос изучается в рамках палеоастронавтики или, более точно, в рамках проблемы палеовизита. Это направление сталкивается с определенными трудностями ввиду двух крайних тенденций. Одна из них состоит в некритическом отношении к фактам, в склонности к слишком поспешным и неосновательным выводам. Другая отрицает саму постановку вопроса и крайне негативно относится к любым исследованиям в этой области. Я думаю, обе тенденции одинаково вредны; им надо противопоставить подлинно научное изучение проблемы. За прошедшие годы накоплен обширный материал, который заставляет нас во многом изменить наши представления о культуре древних цивилизаций. Следует признать, что мы склонны недооценивать уровень их научного и технического развития, как и глубину их философских обобщений. Попытки объяснить неправомерные, с нашей точки зрения, знания древних либо мистификациями, либо позднейшими заимствованиями, на мой взгляд, не убедительны. С методологической точки зрения вряд ли правильно сводить любое малопонятное явление к подделкам и мистификациям. С другой стороны, нельзя слишком легко подходить и к проблеме заимствования. Известно, например, что когда в Европе впервые познакомились с индийской культурой, многие были склонны объявить высокие достижения древнеиндийского гения простым заимствованием из европейских источников. Так, иезуиты заяви-

ли, что "Бхагават-Гита", эта жемчужина индийской культуры, представляет собой де создание отца Климента, который преобразил Христа в Кришну, а Иоанна в Арджуну, чтобы потрафить умам индусов. К сожалению, многие крупные ученые того времени были склонны разделять эти взгляды. Не впадаем ли и мы в подобную же ошибку, когда пытаемся объяснить, например, поразительные астрономические знания догонов их заимствованием из миссионерских источников. Этим я не хочу утверждать, что догоны получили свои знания непосредственно от пришельцев с Сириуса, или что Баальбекскую террасу построили выходцы с Алтаира. Накопленный опыт, на мой взгляд, говорит лишь о том, что некоторые из известных нам древних цивилизаций хранят следы общения с очень высокой культурой. Мы не знаем, каковы истоки этой культуры. Допустимо считать, что она имеет космическое происхождение, но, конечно, такой вывод надо обосновать со всей необходимой тщательностью. Единственно в чем, мне кажется, должно быть заинтересовано мировое научное сообщество, это в том, чтобы исследование в этой области развивались на строго научной основе.

Еще большей остротой отличается проблема посещения Земли в настоящее время.

В последние годы в представлении многих эта проблема связывается с так называемыми "аномальными атмосферными явлениями". Зачастую между проблемой изучения этих явлений и проблемой SETI ставится знак равенства. Между тем такое отождествление неправомерно, ибо в своей исходной постановке это две разные проблемы. Если SETI с самого начала ставится как проблема поиска ВЦ, то проблема аномальных явлений есть проблема изучения явлений определенного класса, наблюдаемых преимущественно в земной атмосфере.

Некоторые черты этих явлений позволяют предполагать их разумную природу. Однако это пока остается недоказанным. Еще менее обоснована гипотеза, связывающая аномальные явления с межзвездными кораблями. Вместе с тем существуют и другие точки зрения на природу этих явлений. До тех пор, пока этот вопрос остается открытым, отождествление аномальных явлений с какой-либо из предложенных гипотез (в том числе с внеземной гипотезой) методологически некорректно и неправомерно.

С другой стороны, трудно согласиться и с точкой зрения, согласно которой внеземная гипотеза по самой своей сути является неправомерной и должна быть безоговорочно отвергнута. Я думаю, это совершенно необоснованная точка зрения, внеземная гипотеза имеет такое же право на существование, как и остальные гипотезы. Каждая из них должна быть критически рассмотрена.

В плане SETI внеземная гипотеза представляет интерес в том смысле, что она перекидывает мост между двумя проблемами (аномальных явлений и SETI). На этом мосту могут встречаться исследователи обеих проблем. Думается, что такие встречи могут быть плодотворны.

Для полноты картины необходимо упомянуть об одном довольно экзотическом направлении поиска ВЦ, которое базируется на предположении, что высокоразвитые ВЦ могут закладывать информацию в генетическую структуру определенных организмов (биологический канал связи). Эта мысль в самой общей умозрительной форме была высказана М.М. Агрестом (на Зеленчукской школе-семинаре SETI в октябре 1975 г.), а затем более подробно обсуждалась Г. Марксом [16], а также в работе японских авторов (Х. Ёко и Т. Осимо), которые попытались с этой точки зрения проанализировать генетическую структуру фага ФХ-174 [17]. Еще дальше в этом направлении идет Г.М. Бескин, который считает, что некоторые сложные природные явления (типа солнечной активности) могут содержать в зако-

дированной форме информацию о деятельности ВЦ [18]. К этим же идеям примыкают и представления о регулируемой системе Гея, развиваемые Г. Марксом (см. с. 80 наст. сб.).

До сих пор рассматривались методы пассивного поиска ВЦ. По-видимому, их целесообразно сочетать с активными методами. Первые шаги в этом направлении уже были предприняты (радиосообщение в сторону шарового скопления М13, информационные пластинки на космических кораблях "Пионер", информационный контейнер на кораблях "Вояджер"). Применение активных методов поднимает ряд проблем философского, правового и этического порядка. Я не буду останавливаться на этих вопросах, так как их обсуждение выходит за рамки настоящего доклада.

В заключение хочу подчеркнуть следующее. Поиск ВЦ не является изолированной проблемой, она тесно связана с эволюцией нашей земной цивилизации, с развитием ее науки и культуры. Она требует самого широкого сотрудничества в различных сферах человеческой деятельности и, конечно, сотрудничества между народами. Это общенаучная, общекультурная и общечеловеческая проблема, которая помогает нам яснее представить и если не решить, то по крайней мере осознать кардинальные задачи нашей земной цивилизации.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Mallove E.F., Forward R.L., Paprotny Z., Lehmann J. — JBIS, 1980, vol. 33, N 6, p. 201–248.
2. Лаврова Н.Б. — В кн.: Проблема СЕТИ: (Связь с внеземными цивилизациями). М.: Мир, 1975, с. 336–348.
3. Лаврова Н.Б., Парнес Т.Л. — В кн.: Проблема поиска внеземных цивилизаций. М.: Наука, 1981, с. 227–258.
4. Cocconi G., Morrison P. — Nature, 1959, vol. 184, p. 844–846.
5. Drake F.D. — Sky and Telescope, 1960, vol. 19, N 3, p. 140–143.
6. Троицкий В.С., Стародубцев А.М., Герштейн Л.И., Рахлин В.Л. — Астрон. журн., 1971, т. 48, № 3, с. 645–647.
7. Schwartz R.N., Townes C.H. — Nature, 1961, vol. 190, p. 205–208.
8. Шеварцман В.Ф. — Сооб. САО АН СССР, 1977, № 19, с. 5–38.
9. Шеварцман В.Ф. — В кн.: Проблема поиска внеземных цивилизаций. М.: Наука, 1981, с. 122–125.
10. Subotovicz M. — Acta Astronaut., 1979, vol. 6, p. 213–220.
11. Ингель Л.Х. — Астрон. журн., 1973, vol. 50, № 6, с. 1331–1332.
12. Jones D.M. — Spaceflight, 1977, vol. 19, p. 113.
13. Verschuur G.L. — Icarus, 1973, vol. 19, N 3, p. 329–340.
14. Dixon R.S., Cole D.M. — Icarus, 1977, vol. 30, N 2, p. 267–273.
15. Bracewell R.N. — Nature, 1960, vol. 186, p. 670–671.
16. Marx G. Message through time. — Acta Astronaut., 1979, vol. 6, p. 221–223.
17. Yokoo H., Oshima T. — Icarus, 1979, vol. 38, p. 148; Breuer R. — Bild der Wissenschaft, 1980, N 1.
18. Бескин Г.М. — В кн.: Поиск разумной жизни во Вселенной: Тез. докл. Всесоюз. симпозиум, 7–13 дек. 1981 г. Таллин, 1981, с. 20–21.

## О СИСТЕМНОМ ПОДХОДЕ К ПРОБЛЕМЕ КОСМИЧЕСКИХ ЦИВИЛИЗАЦИЙ

Методы системного анализа [1] позволяют построить общую модель эволюции космических цивилизаций. При решении этой задачи удобно воспользоваться функциональным определением космической цивилизации (КЦ). В соответствии с общепринятыми представлениями [2] будем считать, что КЦ — это гомеостат второго рода, основная функция которого состоит в адаптивно-адаптирующей и креативной деятельности в целях расширения границ гомеостаза.

Для построения моделей эволюции КЦ целесообразно ввести количественные характеристики этой функции. Адаптивно-адаптирующую функцию КЦ определим с помощью энергетического эквивалента накопленной ею информации  $I_0$

$$\epsilon = W/I_0, \quad (1)$$

где  $W$  — энергопотребление КЦ. Для количественного описания креативной функции КЦ используем энергетическую цену новой информации

$$\tau = \delta W/\delta I^*, \quad (2)$$

где  $\delta W$  — величина энергии, расходуемой на получение количества  $\delta I^*$  новой информации. Под новой информацией, которую КЦ использует для осуществления своей креативной функции, следует понимать либо снятие неопределенности (Шеннон), либо отражение разнообразия окружающего мира (Эшби).

Обращаясь к негэнтропийному принципу информации Бриллюэна, нетрудно убедиться, что параметр  $\tau$  имеет физический смысл "температуры" системы социум—среда. В самом деле, этот параметр характеризует в первую очередь структурное совершенство социума, от которого зависит энергетическая цена новой информации или негэнтропии. Запишем этот параметр в безразмерной форме:

$$\vartheta = \frac{\tau}{\epsilon t_0} = \frac{I_0}{\delta I^* t_0} \frac{\delta W}{W}, \quad (3)$$

где  $t_0$  — время удвоения накопленной информации (~10–20 лет). Для земной цивилизации, например,  $\epsilon \sim 3 \cdot 10^4$  Дж/(бит·год),  $\tau \sim 1,5 \cdot 10^4$  Дж/бит.

Параметры  $\tau$ ,  $\epsilon$  и  $\vartheta$  характеризуют эффективность цивилизации. С их помощью основное свойство эволюции КЦ можно сформулировать в следующем виде: основная целевая функция КЦ состоит в предотвращении снижения ее эффективности, т.е.

$$\frac{d\vartheta}{dt} \approx 0. \quad (4)$$

Для построения моделей эволюции КЦ этот принцип гомеостатичности имеет фундаментальное значение. Целенаправленная деятельность разумной жизни в любой из возможных ее форм состоит, в конечном счете, в локальном снижении энтропии, в нарушении симметрии в природе и в создании новых уровней разнообразия. Разумная жизнь осуществляет эту свою

функцию, опираясь на мощность информационного поля, которым она овладела и потенциал которого она стремится непрерывно наращивать, однако делает она это в условиях действия второго закона термодинамики.

Отсюда следует второй фундаментальный принцип эволюции КЦ — принцип дифференциации: эта эволюция неизбежно сопровождается последовательной дифференциацией и усложнением внутренней структуры КЦ. КЦ — принципиально динамическая и в процессе своей эволюции все более усложняющаяся система.

Сформулированные фундаментальные принципы должны быть положены в основу всех моделей эволюции КЦ. При построении частных моделей эволюции их можно условно подразделить на детерминированные и стохастические. В тех случаях, когда модель может базироваться на достаточно полном объеме фундаментальных научных представлений, она будет носить в целом детерминированный характер. Простой показатель полноты исходных научных представлений — это возможность построения на их основе технологических процессов переработки информации, энергии и материальных ресурсов в интересах цивилизации. Именно с помощью совокупности таких технологических процессов КЦ и осуществляет свою основную целевую функцию. Будем поэтому называть модели эволюции КЦ, основанные на таком подходе, технологическими.

Другую группу частных моделей эволюции образуют модели, в основу которых положены те или иные научные гипотезы, не получившие пока прямого подтверждения. Будем называть такие модели стохастическими. Совокупность частных детерминированных и стохастических моделей эволюции КЦ позволяет дать взаимно дополнительное описание процесса эволюции в целом в терминах многозначной логики. Поскольку такое описание обладает полнотой, совокупность частных моделей можно рассматривать как единую универсальную модель эволюции КЦ.

При построении технологических моделей удобно использовать методы аналитического моделирования. Рассмотрим в качестве конкретного варианта таких моделей модель технологической эволюции, основанную на использовании метода фазового пространства [3]. В основе этого метода лежит вполне реалистическое предположение, что существует множество качественно различающихся между собой состояний КЦ, совокупность которых можно рассматривать как многомерное фазовое пространство. Эволюцию КЦ в этом приближении можно описать с помощью фазовых траекторий в пространстве иерархических состояний.

Вводя в качестве динамических переменных критерии развития системы  $S_i$ , а в качестве параметра — уровни развития  $j$ , образующие иерархическую последовательность, запишем систему дифференциальных уравнений

$$\begin{aligned} \dot{S}_i(j, t) &= F[S_i(j, t)], \\ S_i(t_0) &= S_i^0, \quad t \geq t_0, \quad i = 1, 2, \dots, \end{aligned} \quad (5)$$

где  $j$  — число частных критериев развития.

Учитывая, что для динамических систем характерны экспоненциальные законы роста, конкретизируем вид функции  $F(S_i)$  следующим образом:

$$\begin{aligned} \dot{S}_i(j, t) &= \delta(S_{\max} - S), \\ S_j(j) &= \exp(j^2 - 1), \end{aligned} \quad (6)$$

где инкремент

$$\delta = f(j, t, S_i, W/W_0, \dots), \quad t \geq t_0, \quad i = 1, 2, 3,$$

$W_0$  — энергия, получаемая планетой от собственной звезды. Для упрощения анализа ограничим число определяющих критериев тремя, охарактеризовав с их помощью источники энергии, используемые КЦ (критерий  $S_1$ ), системы обработки информации и управления ( $S_2$ ) и самоорганизацию разумной жизни ( $S_3$ ). Число уровней  $j$ , каждый из которых соответствует более высокой ступени развития, ограничим четырьмя.

При построении иерархического пространства уровней техноэволюции КЦ были использованы следующие требования:

- повышение устойчивости системы и расширение границ гомеостаза при переходе на каждый следующий уровень;
- снижение доли мигрирующей энергии и уровня возможных отрицательных воздействий на среду;
- повышение степени когерентности основных технологических процессов.

В целях повышения достоверности прогноза использован также квази-эргодинамический принцип построения фазового пространства: выход на уровень  $j$  по критерию  $S_i$  обеспечивается реализацией  $R_k$  событий — альтернативных технологических процессов. Если даже вероятность реализации каждого  $R_k$  процесса  $P_k \ll 1$ , то при  $n \gg 1$  полная вероятность достаточно высока:

$$P_{\text{в}} = \sum_{k=1}^n P_k \approx 1. \quad (8)$$

Рассмотрим пример фазового пространства эволюции КЦ, построенного на сформулированных принципах [3], представленный в таблице. Первый, начальный уровень развития примерно соответствует состоянию земной цивилизации на рубеже космической эры. Поясним использование условия (8): вероятность широкого промышленного внедрения ядерной энергетики, например, близка к единице, поскольку эта задача может быть в принципе решена с помощью большого числа ядерных и термоядерных реакторов различного типа.

Уровни техноэволюции

$j$	$S_1$	$S_2$	$S_3$
1	Химические источники энергии	Широкое использование ЭВМ, отраслевые АСУ	Исследования по генетике, молекулярной биологии, биохимии, биофизике, медицине, экологии
2	Ядерная и термоядерная энергетика, индустриализация космоса, водородная энергетика	Глобальная система обработки информации и управления, эвристическое программирование, искусственный интеллект	Ликвидация болезней, решение проблемы пищевых ресурсов, мобилизация ресурсов головного мозга
3	Хемибиозэнергетика, энергопроизводственные и агропромышленные комплексы, когерентная технология	Машинное конструирование экологического оптимума биосферы и ноосферы	Направленное управление генетическим кодом, симбиоз человек—машина, сохранение личности
4	Параэнергетика, репликация, геотехнология, экоэнергетика	Когерентные методы научных исследований, машинные методы получения новой информации	Постсоциальная стадия развития КЦ — нообионт



Решение уравнения (6) имеет вид логистической кривой, в частном случае  $S_{\max} \gg S$

$$S(t) = S_0 e^{\delta t} \quad (9)$$

(индекс "j" опущен). Совместное решение уравнений (7) и (9) дает для времени выхода КЦ на уровень развития j простое выражение

$$t = \frac{1}{\delta} (j^2 - 1). \quad (10)$$

Динамические уравнения типа (6) используются в термодинамике нелинейных систем открытого типа для исследования вопросов устойчивости сложных самоорганизующихся систем [4]. Анализ системы нелинейных дифференциальных уравнений (6) позволяет исследовать область устойчивости решений в функции параметрических зависимостей инкремента  $\delta$ .

В общем случае инкремент  $\delta$  является тензором. Запишем для его величины выражение

$$\delta = \prod_k \delta_k, \quad k = 1, 2, \dots \quad (11)$$

$$\delta_1 = \frac{\dot{R}_2}{\dot{R}} \frac{1}{t_0}, \quad \dot{R}(t) = \sum_{l=1}^3 \dot{R}_l(t), \quad (12)$$

$$\delta_2 = (1 + W(t)/W_0)^{-1}; \quad \delta_3 = S_2(t)/S_{2\max}; \quad \delta_4 = f(S_1, S_2, S_3). \quad (13)$$

Здесь  $\dot{R}(t)$  — годовое потребление КЦ невозполнимых природных ресурсов,  $\dot{R}_1$  — часть этих ресурсов, расходуемая на поддержание гомеостаза (материальное воспроизводство),  $\dot{R}_2$  — расходы на расширение границ гомеостаза ("научная экспансия"),  $\dot{R}_3$  — все прочие расходы.

Условия типа (13) имеют физический смысл правил запрета на некоторые фазовые траектории. Первое из этих условий отражает вывод, полученный в [5, 6] о том, что в Галактике практически отсутствуют автономные КЦ II и III типа по классификации Н.С. Кардашева. Второе условие означает, что целенаправленный переход к высшим ступеням самоорганизации разумной жизни может стать реальностью только при наличии максимально полной информации о последствиях такого перехода. Третье условие введено для учета социальных факторов техноэволюции.

Несмотря на грубо ориентировочный характер схемы, представленной в таблице, она позволяет сделать важные заключения об основных закономерностях техноэволюции. Ясно, во-первых, что главным, определяющим направлением этого процесса должно быть интенсивное развитие, которое характеризуется в первую очередь качественными изменениями, периодическими глубокими перестройками и прогрессирующим усложнением структуры КЦ, а не количественным ростом таких показателей развития, как потребление энергии и материальных ресурсов. Этот вывод носит основополагающий характер и соответствует принципу гомеостатичности (4). Количественное его содержание можно понять более четко, если проанализировать фактическое состояние материальных ресурсов и соответствующих экологических ограничений на примере земной цивилизации [5].

Второй вывод касается оценки темпов и продолжительности прогнози-

руемого периода техноэволюции. Для земной цивилизации в современную эпоху  $\delta \sim 5 \cdot 10^{-2}$  лет<sup>-1</sup>. При сохранении таких темпов для перехода КЦ на высшие уровни требуется около 300 лет. С учетом ограничений (13) средние темпы техноэволюции должны быть, вероятно, меньше, но даже при очень малых значениях инкремента ( $\delta \sim 10^{-4} - 10^{-5}$  лет<sup>-1</sup>) выход КЦ на высшие уровни эволюции потребует не более  $10^5$  лет. Поэтому можно считать, что в рамках рассматриваемой модели процесс техноэволюции носит взрывной характер и по космическим масштабам заканчивается практически мгновенно.

Третий вывод состоит в том, что конечные стадии техноэволюции КЦ, по всей видимости, мало зависят от условий вблизи "точки старта", т.е. от физико-химических, биологических, социальных и других индивидуальных черт КЦ на начальном этапе. По мере автономного развития разнообразие КЦ постепенно уменьшается и различные пути их эволюции сходятся на некоторой высшей унифицированной стадии развития ноосферы (см. [3]).

Для ответа на вопрос о возможных путях развития КЦ на следующей, "посттехнологической" стадии ее эволюции обратимся к анализу стохастических моделей. Можно указать три типа таких моделей.

1. Финалистские модели. В основе этих моделей лежит предположение, что процесс эволюции принципиально неустойчив, неизбежен переход системы в состояние, в котором эффективность КЦ резко снижается или стремится к нулю.

Возмущения, прерывающие процесс эволюции КЦ, могут носить различный характер — космические катастрофы, энергетический или экологический кризис и т.п. Устойчивость эволюции КЦ по отношению к возмущению  $A(t)$  произвольной природы можно проанализировать, обращаясь к принципу гомеостатичности (4). Следуя [7], запишем зависимость  $\Theta(t)$  в виде

$$\dot{\Theta}(t) = A(t) \{\Theta(t), t\}. \quad (14)$$

Принимая в качестве естественного граничного условия

$$\Theta = \Theta_0 = 0 \quad \text{при} \quad A(t) = 0,$$

запишем уравнение (14) в виде

$$\dot{\theta}(t) = -\gamma(t)\theta(t) + A(t). \quad (15)$$

Положим

$$A(t) = C e^{-\beta t}. \quad (16)$$

Величины  $\tau_1 = 1/\beta$  и  $\tau_2 = 1/\gamma$  имеют физический смысл характерных времен возмущения исходного состояния системы КЦ—среда и релаксации параметра  $\theta$  в невозмущенной системе. В адиабатическом приближении

$$\beta \gg \gamma; \quad \tau_1 \ll \tau_2 \quad (17)$$

и решение уравнения (15) имеет вид

$$\theta(t) = \frac{1}{\gamma} A(t). \quad (18)$$

В этом случае система сохраняет устойчивость при движении вдоль соответствующей фазовой траектории.

Сделанный вывод вполне согласуется с теорией космической экологии

Ф. Дайсона [8]. В основу этой теории положена, в частности, аксиома адаптивности, согласно которой жизнь, имея достаточно времени, способна приспособиться к любым изменениям среды.

2. Модели метанаучной эволюции. Группа соответствующих моделей основана на гипотезе, что современная наука далека от завершения и что впереди нас ожидают новые фундаментальные открытия, которые поведут к регулярным перестройкам естествознания радикального характера (смена парадигм).

Простейшая из таких моделей — модель метанаучной технологии — основана на предположении, что  $j \gg j_0 = 4$ . Оценки по формулам типа (6) и (10) дают в этом случае для продолжительности процесса техноэволюции время  $\sim 10^9 - 10^{10}$  лет, что сопоставимо с возрастом Вселенной.

Другая отличительная особенность эволюции КЦ в соответствии с моделями этой группы состоит в резком увеличении количества уровней в фазовом пространстве состояний КЦ. Согласно условию (4), это ведет к возрастанию эффективности КЦ.

3. Гетерономная эволюция, или возникновение метацивилизации (МЦ) как следствие установления контактов между различными автономными цивилизациями. Основная гипотеза этой группы моделей состоит в том, что существуют области Вселенной, в которых достаточно велика плотность КЦ, имеющих естественное или искусственное происхождение.

Условие возникновения МЦ имеет простой вид

$$\tau_i \delta_0 \leq 1, \quad (19)$$

где  $\tau_i$  — характерное время обмена информацией между различными КЦ;  $\delta_0$  — инкремент автономной эволюции. При несоблюдении этого условия гетерономная эволюция неэффективна.

Выше при анализе следствий модели техноэволюции отмечалось, что в пределе этот процесс ведет к возникновению некоторого унифицированного состояния ноосферы. Возникающая при этом потенциальная опасность вырождения КЦ может быть снята именно на пути гетерономной эволюции, в процессе которой снова резко вырастает число возможных уровней в фазовом пространстве эволюции.

Для анализа структурно-динамических закономерностей эволюции МЦ выберем в качестве критерия их эффективности относительное изменение инкремента

$$\tilde{\delta} = (\delta_i - \delta_0) / \delta_0, \quad (20)$$

где  $\delta_i$  — средний инкремент гетероэволюции. Поскольку выигрыш в эффективности за счет объединения обусловлен разделением труда, а на поддержание связей необходимы дополнительные энергозатраты, то зависимость  $\tilde{\delta}$  от числа  $N$  цивилизаций, образующих МЦ, можно в первом приближении аппроксимировать, например, квадратичной функцией [9]:

$$\tilde{\delta} = \tilde{\delta}_0 + aN - bN^2. \quad (21)$$

Коэффициенты  $a$  и  $b$ , входящие в это выражение, определяются совокупностью существующих условий и уровнем технологии. Оптимальное число КЦ, входящих в сообщество, равно

$$N_{\text{опт}} \approx a/2b. \quad (22)$$

Превышение этого числа ведет к кризисным ситуациям, при которых эффективность  $\tilde{\delta}$  резко снижается либо даже становится меньше нуля.

Количественно вероятную мощность МЦ можно оценить из следующих соображений. Если используется канал связи, характеризующийся скоростью распространения электромагнитных сигналов, то при  $\bar{\delta} \sim 10^{-4}$  год $^{-1}$  и при среднем расстоянии между КЦ  $\bar{R} \sim 10^3$  св. лет их среднее число составит

$$\bar{N} \sim (c/\bar{\delta}\bar{R})^3 \sim 10^3. \quad (23)$$

Выполненный анализ дает представление о возможной стратегии МЦ по установлению связи с другими цивилизациями. Основной вывод состоит в том, что хотя МЦ могут располагать необходимыми для решения этой задачи энергетическими ресурсами, их активная деятельность в этом направлении маловероятна.

Совокупность рассмотренных частных моделей можно считать единой метамоделью эволюции КЦ. В рамках этой метамодели логично поставить вопрос: какова плотность вероятности  $P$  распределения КЦ по различным стохастическим моделям? Поскольку основная функция живого состоит в создании новых уровней разнообразия, эту плотность вероятности можно считать пропорциональной числу таких уровней. Сравнивая по этому признаку между собой все три группы стохастических моделей, нетрудно убедиться, что

$$P_3 > P_2 \gg P_1; \quad P_1 \ll 1. \quad (24)$$

В заключение отметим, что значение рассмотренного системного подхода для исследований по проблеме SETI состоит в том, что он позволяет изучать наиболее общие закономерности эволюции КЦ независимо от того, какова реальная мощность множества КЦ, включая тот предельный случай, когда наша цивилизация оказывается практически единственной. В этом случае предложенную обобщенную модель следует рассматривать как прогнозный сценарий наиболее отдаленных этапов эволюции нашей собственной цивилизации.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Моисеев Н.Н. Математические методы системного анализа. М.: Наука, 1981. 487 с.
2. Проблема SETI: (Связь с внеземными цивилизациями). М.: Мир, 1975. 351 с.
3. Лесков Л.В. Космические цивилизации: проблемы эволюции. М.: Знание, 1985. 64 с.
4. Николис Г., Пригожин И. Самоорганизация в неравновесных системах. М.: Мир, 1979. 512 с.
5. Лесков Л.В. — Земля и Вселенная, 1979, № 3, с. 61—63.
6. Троицкий В.С. — В кн.: Проблема поиска внеземных цивилизаций. М.: Наука, 1981, с. 5-29.
7. Хакен Г. Синергетика. М.: Мир, 1980. 404 с.
8. Дайсон Ф. — Природа, 1982, № 8, с. 60—70.
9. Постон Т., Стюарт И. Теория катастроф. М.: Мир, 1980. 608 с.

Л. Н. Никишин

## К ВОПРОСУ О РАЗРАБОТКЕ СТРАТЕГИИ ПОИСКА СИГНАЛОВ ИСКУССТВЕННОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ ИЗ КОСМОСА

Как известно, оценки числа внеземных высокоорганизованных систем, подобных земной цивилизации (в дальнейшем — космических цивилизаций, или КЦ), к каким-либо определенным результатам не привели. Рассмотрим в качестве примера метод оценки числа КЦ в Галактике, предложенный Ф. Дрейком [1].

Предложенную Дрейком формулу числа КЦ в Галактике, существующих на момент наблюдений, можно представить в виде:

$$N_{ц} = N_{зв} FL/T,$$

где  $N_{ц}$  — число КЦ;  $N_{зв} \approx 10^{11}$  — число звезд в Галактике;  $T \approx 10^{10}$  лет — время, прошедшее от момента образования самых старых звезд до момента наблюдений;  $F$  — фактор выборки, характеризующий долю тех звезд, вблизи которых возникли технологические КЦ, подобные земной цивилизации;  $L$  — среднее время жизни КЦ.

Значения величин  $F$  и  $L$  в настоящее время не могут быть определены с какой-либо степенью достоверности. Поэтому оценки  $N_{ц}$  колеблются от единиц [2] до  $10^6$  [1], и ситуация остается неопределенной.

**Коммуникативная фаза КЦ и ее длительность.** Величина  $N_{ц}$  и, следовательно, вероятность установления контактов между КЦ в сильной степени зависит от  $L$ , вернее, от  $L_c$  — длительности так называемой "коммуникативной фазы" (составляющей часть  $L$ ), которая определяется как период, в течение которого КЦ активно стремится к установлению контактов с другими КЦ. Для того чтобы величина  $N_{ц}$  не была пренебрежимо малой даже при оптимистических оценках  $F$  (скажем,  $10^{-2}$ , что, скорее всего, не соответствует действительности),  $L_c$  должна составлять по крайней мере  $10^4$ – $10^5$  лет, как показано на рис. 1. Поскольку это минимальные значения, а скорее всего придется говорить о существовании больших величинах  $L_c$ , необходимо провести анализ условий, обеспечивающих  $L_c \geq 10^4$ – $10^5$  лет.

В настоящее время нет оснований считать, что скорости функциональных процессов, протекающих в сложных динамических системах, какими являются предполагаемые КЦ, значительно отличаются от наблюдаемых у земной цивилизации. Но при этом значения  $L_c$  порядка  $10^4$ – $10^5$  лет определяют информационный обмен с другими КЦ как важную часть их общей деятельности. Иными словами, длительная коммуникативная фаза (вообще говоря, необходимое условие для установления контактов) может определяться лишь настоятельной необходимостью такого рода деятельности, жизненно важными потребностями КЦ. Мотивы другого рода представляются в этой ситуации несостоятельными.

Многие исследователи полагают, что функциональные процессы, характерные для КЦ, неразрывно связаны с информационными, что им присущ информационный метаболизм, без чего невозможна адаптивно-адаптирующая деятельность [3–5]. Источником информации для КЦ является как окружающая среда, так и внутренний информационный ресурс, тезаурус, определяющий способность системы к направленным действиям.

Как велики возможности каждой отдельно взятой КЦ по генерирова-

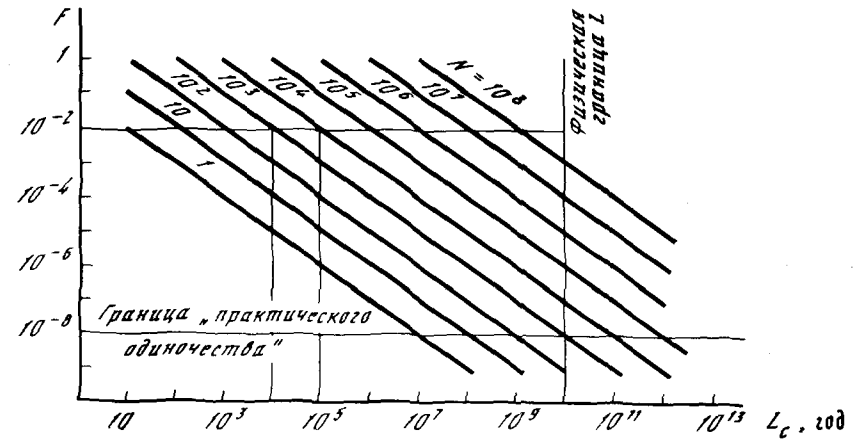


Рис. 1. Зависимость  $N_{ц}$  от  $F$  и  $L_c$

нию новой информации, увеличению и развитию тезауруса? Дать определенный ответ на это в настоящее время не представляется возможным, хотя надо сказать, что многие из высказанных в этой связи предположений носят пессимистический характер. Известно, что для земной цивилизации в настоящее время характерен экспоненциальный рост научной информации, обеспечивающий соответствующее развитие технологии. Указывается, однако, на возможную неустойчивость такого развития и возникновение в будущем различного рода кризисов. Преодоление подобных кризисов возможно при движении КЦ вдоль определенной фазовой траектории [6] за счет соответствующих управляющих воздействий. Одним из таких воздействий, в частности, может быть получение и использование информации от других КЦ.

Роль этого способа получения новой информации на том или ином этапе развития КЦ может определяться затрудненностью, практическим отсутствием или, наоборот, возникновением альтернативных возможностей. В последнем случае решающую роль будет играть предпочтительность того или иного образа действий. Можно предположить, что коммуникативная фаза КЦ — это определенный ограниченный во времени этап их развития.

**Особенности информационного обмена между КЦ.** Процесс информационного обмена между КЦ характеризуется некоторыми особенностями и отличиями от "традиционной" познавательной деятельности, которые необходимо учитывать при разработке методов установления контактов. Он может быть эффективным лишь при выполнении ряда условий, в частности следующих:

- регулярность получения и достаточный объем информации;
- возможность осуществления контактов при ограниченных материальных и энергетических ресурсах КЦ;
- возможность интерпретации содержательного смысла принимаемой информации;
- возможность усвоения и использования информации.

Однако, как представляется, выполнение этих условий сопряжено с рядом трудностей и ограничений, обусловленных существующей физической реальностью. Так, "пространственная плотность" КЦ в среднем, вероятно, достаточно низка. В этих условиях задача поиска КЦ и

установления контактов характеризуется значительной неопределенностью и оказывается практически невыполнимой. Вместе с тем деятельность такого рода, по существу, не может опираться на методы случайного поиска. Важное значение имеет также скорость передачи информации по межзвездным каналам связи, которая ограничена физической природой сигналов. Малая пространственная плотность КЦ (существенно меньшая, чем звезд) в большей части Галактики определяет время обмена информацией даже в случае контактов соседних КЦ в сотни и тысячи лет, т. е. имеет место явная несопоставимость этого времени и динамики развития КЦ, скорости их автономной эволюции. Поэтому контакты КЦ, за редкими исключениями, не могут носить характера "беседы", двустороннего обмена информацией. Однако, как представляется, это мало влияет на эффективность информационного обмена между КЦ. Он может быть обеспечен за счет исключения времени прохождения сигналов в межзвездной среде из характеристик процесса, осуществления контактов в виде односторонних передач информации и приема подобных же сообщений. Селекция "ценной" информации (т.е. влияющей на перспективу), а также ее последующее использование осуществляется корреспондентом по его усмотрению.

Технические аспекты подобного рода контактов впервые были рассмотрены Н.С. Кардашевым [7], который показал, что в этом случае сигнал отправителя информации должен быть изотропным и широкополосным. Это определяет мощность передатчика величиной порядка  $10^{26}$  Вт, что сравнимо с мощностью излучения звезды типа Солнца. Такую деятельность могут осуществлять лишь КЦ очень высокого технологического уровня, намного превосходящего современный уровень развития земной цивилизации.

**Проблемы интерпретации информации.** Односторонность контактов усугубляет и без того сложные проблемы восприятия и использования информации, являющейся результатом познания мира другим познающим субъектом. Следует иметь в виду, что КЦ — это динамические системы с высоким уровнем организации, имеющие разный генезис, структуру, эволюцию, действующие в разных средах обитания. Поэтому должна отличаться и их предметно-материальная деятельность, и категориальный "каркас" выделения и формирования материальных объектов познания. Иными словами, вероятность того, что семантические наполнения контактирующих систем не будут связаны, а отличия в алфавите символов на всех уровнях тезаурусов окажутся существенными, представляется высокой [8, 9]. Для "безадресного" типа контактов характерно отсутствие обратных связей; к тому же прием информации осуществляется самими разными корреспондентами. Поскольку, вероятно, не существует финитной "метатеории", включающей в себя соотношения между различными понятийно-концептуальными системами, передаваемая информация вряд ли может быть полностью и непротиворечиво интерпретирована разными корреспондентами во всей сложности и взаимосвязи описываемых ею явлений даже при сходстве или идентичности ряда понятий и категорий. Тем самым в огромной степени затрудняется использование информации, содержащейся в такого рода сообщениях. Поскольку КЦ — это динамические системы, их тезаурусы с течением времени перемещаются в фазовом пространстве (которое определяется сверхбольшим тезаурусом, в котором тезаурус каждой из КЦ фиксируется многомерными координатами), подобном рассматриваемому в [10], так что даже системы со сходной структурой и способом интеллектуальных построений, но находящиеся на разных уровнях развития, могут не иметь общего понятийно-концеп-

туального аппарата — будет различной структуризация информации и априорные знания.

Однако, если число КЦ, возникших в Галактике за все время существования, все же достаточно велико (скажем,  $10^5 - 10^6$ ), то не исключено, что в фазовом пространстве могут существовать их "скопления", соединяемые между собой цепью промежуточных форм. Системы, близкие между собой в этом пространстве, могут удовлетворять условию соотносимости тезаурусов, знаковых систем, необходимому для интерпретации сообщений. При близкой морфологии контактирующих систем, по-видимому, должно иметь место пересечение множеств качественных понятий (в некоторых случаях значительное). Но тогда соответствующая процедура информационного обмена может заключаться в установлении контакта между КЦ, лежащими в некоторой  $\xi$ -окрестности относительно друг друга в фазовом пространстве и "шаговым" перемещении тезауруса при дальнейших контактах. Однако распределение КЦ в фазовом пространстве в общем случае нельзя считать совпадающим с их распределением в физическом пространстве и времени.

**Организованная межзвездная связь.** Вышеизложенное позволяет сделать следующие выводы.

1. Возможно, что спонтанное установление контактов между КЦ в областях Галактики, подобных окрестностям Солнца, практически неосуществимо. В связи с этим осуществление связей между КЦ, за исключением особо благоприятных случаев, необходимо предполагает использование определенных правил и процедур, позволяющих преодолеть различного рода ограничения.

2. При существовании сильных побудительных мотивов к контактам ситуация должна развиваться по направлению к образованию некоторой самоподдерживающейся "надцивилизационной" структуры, одной из главных функций которой является обеспечение эффективности и регулирование процессов информационного обмена между КЦ.

Эффективность обмена, по-видимому, должна возрастать при увеличении участвующих в нем КЦ. Поэтому вполне допустимо предположение, что подобная структура может достичь галактических масштабов.

Существование определенной системы связи между КЦ в Галактике представляется эволюционно возможным, и поэтому предположения о ее существовании высказывались в прошлом неоднократно, особенно учитывая возраст наиболее старых звезд —  $10^{10}$  лет [3, 11].

Вывод данной работы сводится к тому, что в наиболее вероятной ситуации (большие расстояния между КЦ, их морфологические различия, ограниченные энергетические возможности и т. п.) существование системы связи между КЦ в Галактике является практически единственным путем обеспечения эффективного информационного обмена (рис. 2).

В подобной системе обмен может быть регулярным, не зависящим от случайных обстоятельств. Правила и процедуры передачи, приема, обработки и использования информации могут быть направлены не только на ее точную интерпретацию, но и на ее органическое восприятие на соответствующих этапах развития КЦ с целью исключения возможных негативных последствий реализации положительных управляющих воздействий.

Предварительно можно сформулировать общую цель предполагаемой системы организованной связи между КЦ Галактики, как стремление к максимальному использованию их общего информационного потенциала (каждой из них) для обеспечения адаптивно-адаптирующей деятельности и расширения границ гомеостаза.

Основная часть проблемы энергетических затрат в рамках системы



Рис. 2. Преодоление барьеров и ограничений на пути контактов между КЦ

может быть практически снята за счет организации направленных каналов связи. С учетом размеров Галактики и ограниченности энергетического потенциала КЦ при организации таких каналов возможно использование промежуточных усилителей мощности сигнала.

Одним из важных преимуществ подобной системы информационного обмена была бы возможность организации в ее составе некоторой подсистемы хранения информации, своего рода "коллективной памяти". В этом случае содержательный опыт каждой из КЦ — участника системы — является частью общего информационного потенциала независимо от времени начала коммуникативной фазы и длительности последней. Значение  $L_c$  в формуле Дрейка в этом случае становится близким к  $T$  (определяется длительностью существования системы).

Таким образом, если верна исходная предпосылка о настоятельной необходимости контактов между КЦ и информационного обмена между ними, то при существующих ограничениях реальная практика межзвездной связи должна была развиваться в этом направлении. Не вдаваясь в анализ возможных причин ограниченного пребывания КЦ в составе такой системы, следует отметить, что практически ничто другое не может привести к ее деструкции ввиду стабильности среды. Поэтому она должна быть динамически устойчивой, открытой для включения в нее новых КЦ, достигших некоторого минимального уровня технологического развития, если, конечно, их образование продолжается и в настоящее время. Но это вполне возможно, так как в Галактике еще не закончилось и звездообразование. Подключение каждой новой КЦ к системе в принципе должно происходить однократно на основе правильно понятой процедуры, после чего она получает доступ к общему информационному потенциалу.

Условия существующие в диске Галактики, где находится Солнечная

система, неблагоприятны для спонтанных контактов, которые могли бы привести к созданию "надцивилизационной" структуры. Но в ее центральных областях, где пространственная плотность звезд (а мы исходим из того, что КЦ "привязаны" к звездам) более высока, чем в окрестностях Солнца, они являются другими. Учитывая концентрацию звезд сферической и промежуточной составляющей к центру Галактики, а также сосредоточение подавляющего числа молодых звезд (в том числе ранних спектральных классов) в спиральных ветвях, в первом приближении можно предположить возрастание пространственной плотности КЦ к центру Галактики. При существенно меньших расстояниях между КЦ в центральных областях, вероятно, возможны двухсторонние и даже прямые контакты. Эти условия оказываются благоприятными для образования ассоциации КЦ, в определенном смысле играющей (или игравшей в прошлом) роль лидера.

Образование в центральных областях Галактики лидирующей ассоциации КЦ могло бы способствовать созданию в этом районе соответствующих астроинженерных сооружений для организации потоков информации в общегалактических и даже трансгалактических масштабах. При этом можно предположить, что подключение к системе и организация "входного", первичного сигнала тоже могут быть связаны с этим комплексом. В этом случае радикально сужается зона первоначального поиска, используется природный пространственный стандарт (по крайней мере для КЦ, в систему понятий которых входит понятие о центре как особой точке). Кроме того, центральное положение передатчика, предназначенного для корреспондентов во всей Галактике, оптимально с энергетической точки зрения. При существующей форме Галактики "первичный" сигнал не обязательно должен быть изотропным. Для приема сигнала, охватывающего диск, сферическую и промежуточную составляющую, а также отдельные районы гало, с помощью средств, имеющихся в настоящее время на Земле, достаточна мощность передатчика порядка  $10^{18}$ – $10^{19}$  Вт, что в  $10^7$ – $10^8$  раз меньше, чем требуемая мощность в случае изотропного излучения.

Представляется, что "входной" сигнал должен нести большой объем информации, обеспечивающей в дальнейшем достижение "подключившейся" цивилизацией уровня, который позволит вести эффективный информационный обмен на основе определенных правил и процедур. Регулярный поток информации может поступать по направленным каналам связи от ближайшего к КЦ звена системы лишь после получения соответствующего извещения от нее. Временная задержка определяется расстоянием от КЦ до звена системы и может составлять  $(1-2) \cdot 10^3$  лет. Поэтому сигнал канала "входа" должен нести большой объем информации (может быть порядка  $10^{16}$ – $10^{17}$  бит), усвоение которой занимает все время задержки. Структура сигнала и характер содержащейся в нем информации должен служить предметом дальнейшего анализа.

Экспериментальное доказательство отсутствия в Галактике развитой системы информационного обмена КЦ также будет иметь большое значение, так как внесет дополнительную определенность в разработку альтернативных стратегий поиска КЦ.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Проблема СЕТІ: (Связь с внеземными цивилизациями). М.: Мир, 1975.
2. Шкловский И.С. — В кн.: Астрономия. Методология. Мировоззрение. М.: Наука, 1979, с. 252–274.
3. Кардашев Н.С. — В кн.: Внеземные цивилизации. М.: Физматгиз, 1969, с. 25–101.
4. Кардашев Н.С. — В кн.: Астрономия. Методология. Мировоззрение. М.: Наука, 1979, с. 305–324.

5. *Троицкий В.С.* — В кн.: Проблема поиска внеземных цивилизаций. М.: Наука, 1981, с. 5—29.
6. *Лесков Л.В.* — В кн.: Проблема поиска жизни во Вселенной. М.: Наука, 1986, см. наст. сб.
7. *Кардашев Н.С.* — Астрон. журн., 1964, т. 41, № 2, с. 282—287.
8. *Пановкин Б.Н.* — В кн.: Внеземные цивилизации. М.: Физматгиз, 1969, с. 391—437.
9. *Пановкин Б.Н.* — В кн.: Проблема поиска внеземных цивилизаций. М.: Наука, 1981, с. 186—196.
10. *Воробьев Г.* — В кн.: Семиотика и информатика. М.: ВИНТИ, 1979, вып. 11, с. 3—36.
11. *Брайсуэлл Р.* — В кн.: Межзвездная связь. М.: Мир, 1965, с. 257—270.

УДК 523.164+621.396.946

*В.М. Цуриков*

## ПРОБЛЕМА СЕТИ И ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАЗВИТИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

При поиске путей установления информационного контакта между внеземными цивилизациями (ВЦ) технологического типа можно использовать законы развития технических и других искусственных систем, которые являются достаточно инвариантными для различных внешних условий в предположении хотя бы частичного пересечения систем целей ВЦ.

Для проблемы СЕТИ наибольший интерес представляет закон увеличения степени идеальности систем, согласно которому развитие всякой системы идет в направлении достижения идеального конечного результата, определяемого главной функцией системы и формулируемого по определенным правилам [1].

В применении к проблеме критериев искусственности космических позывных, возникшей в связи с задачей привлечения внимания к искусственным сигналам и обеспечения высокой вероятности их правильной интерпретации, данный закон приводит к необходимости следовать ряду принципов.

**Принцип запрета в космических позывных.** Попытки создания позывного сигнала, максимально привлекающего к себе внимание других цивилизаций, наталкиваются на существенное затруднение.

С одной стороны, такой сигнал должен сильно отличаться от явлений естественного происхождения, в идеале вообще выходить за рамки известных законов природы, противоречить этим законам. С другой стороны, никакая ВЦ создать антиприродное явление не в состоянии, ибо любое искусственное явление основано на природных закономерностях и может поэтому интерпретироваться наблюдателем как естественное.

Выход состоит не в создании самого явления, выходящего за рамки физических или иных законов, а в имитации его путем посылки, например, пары сигналов, каждый из которых может вполне существовать в природе, но вместе в данных условиях они не могут существовать принципиально (без привлечения гипотезы о деятельности ВЦ), ибо это запрещено фундаментальными законами природы.

Теперь принцип запрета можно сформулировать следующим образом: для увеличения мощности критерия искусственности позывные сигналы должны сопровождаться специальным сигналом (множеством сигналов), запрещающим естественное объяснение причин, породивших наблюдаемые явления.

В качестве критерия искусственности в этом случае выступает не значение физического или иного параметра явления, а противоречие между парой, тройкой и т.д. явлений, которые вместе при данных условиях наблюдаться не могут.

Примеры космических позывных, построенных с учетом принципа запрета, приведены в работе [2].

**Комплексность критериев искусственности.** Для цивилизаций с неполностью совпадающими системами знаний наибольшей вероятностью верной расшифровки будет обладать сигнал с комплексным критерием искусственности, включающим несколько уровней понимания в зависимости от конкретных наук, методы которых могут использоваться при анализе сигнала на приемной стороне.

Например, для пары узкополосных сигналов, сдвинутых в разные стороны по спектру относительно некоторого эталона, комплексный критерий будет иметь три уровня понимания: технический — узкополосность спектра (критерий В.С. Троицкого), математический — иррациональное число, заключенное в отношении частот (критерий П.В. Маковецкого), физический — появление противоречия, которое состоит в невозможности движения макротела сразу в противоположных направлениях, если попытаться объяснить смещение спектральных линий эффектом Доплера [3].

При анализе такой пары сигналов на приемной стороне достаточно "зацепиться" хотя бы за один из уровней, чтобы заподозрить сигналы в искусственном происхождении. Если совпадают математические знания обеих цивилизаций, то это будет иррациональное число, если совпадают только физические картины мира, то анализ выведет на недопустимое противоречие и т.п.

Дальнейшие исследования должны быть направлены на обнаружение посылаемых совместно с позывными информационных сигналов с выяснением их содержания.

**Управляющие сигналы контакта.** Строительство сложных и дорогостоящих космических маяков может быть оправдано лишь в том случае, если удастся обеспечить максимально высокую вероятность принятия решения об искусственном характере сигналов.

В решении данной задачи возможен вариант, при котором создается особый управляющий сигнал дополнительно к позывному: воздействуя на эмоциональную сферу познающего субъекта, он приводит к вынесению верного решения о первом — позывном сигнале.

Можно наметить несколько методов использования управляющих сигналов: внушение предпочтения данного сигнала любым другим; подбор параметров сигнала таким образом, чтобы он предпочитался субъектом при выборе из некоторого множества; фиксация факта приема сигнала субъектом по слабым реакциям нервной системы [4]; вероятностное прогнозирование сигналов на неосознаваемом уровне [5].

При разработке детальной структуры управляющих сигналов основная проблема состоит в исследовании возможности создания несемантических методов воздействия на критичность мышления субъекта и на характер предпочтения при неосознаваемом выборе объектов, так как именно в этом случае обеспечивается максимальное число космических корреспондентов, подготовленных для восприятия подобных сигналов.

**Заключение.** Применение закона увеличения степени идеальности систем для анализа проблемы критериев искусственности сигналов приводит к следующим выводам.

1. В космических позывных необходимо использовать принцип запрета.

та путем посылки сигналов, совместное существование которых в природе при заданных условиях невозможно.

2. Повышение вероятности обнаружения искусственного характера позывных возможно при использовании сигналов с несколькими уровнями понимания.

3. Существующая возможность управления процессом принятия решений субъектом путем использования управляющих сигналов контакта ставит на повестку дня вопрос о форме таких сигналов и возможности их обнаружения.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. *Альтшуллер Г.С.* Творчество как точная наука. М.: Сов. радио, 1979, с. 176.
2. *Цуриков В.М.* — Изв. вузов. Радиофизика, 1979, т. 22, № 6, с. 764–765.
3. *Цуриков В.М.* — В кн.: ХХIII Всесоюз. науч. сес., посвященная Дню радио: Аннот. и тез. докл. секции теории и техники передачи дискретных сигналов. М., 1978, с. 25–26.
4. *Мирза Д.Г., Петрусинский В.В., Дорошенко В.А.* — В кн.: Проблемы обнаружения слабых реакций нервной системы/Под ред. Д.Д. Федорова. М., 1968, с. 36–42.
5. *Фейгенберг И.М.* — В кн.: Бессознательное. Тбилиси, 1979, т. 1, с. 171–172.

УДК 523.07:521.135

*Г.Л. Сучкин, Ю.В. Токарев, Л.Г. Лукьянов, Г.И. Ширмин*

### ЛАГРАНЖЕВЫ ТОЧКИ В ПРОБЛЕМЕ ПОИСКА ВНЕЗЕМНЫХ ЦИВИЛИЗАЦИЙ

Если по аналогии с зондами нашей земной цивилизации, используемыми пока лишь для исследования планет и небесных тел в пределах Солнечной системы, допустить вслед за Брейсуэллом [1] существование зондов более высокоразвитых внеземных цивилизаций (ВЦ), то, по-видимому, нельзя априори исключить возможность их появления как в пределах Солнечной системы, так и в окрестностях Земли. Сравнительно недавно Л.В. Ксанфомалити [2] вновь привлек внимание к этой проблеме, связав ее с лагранжевыми точками земной и лунной орбит и явлением задержанного радиозэха (ЗРЭ). Гипотеза Л.В. Ксанфомалити выгодно отличается от других многочисленных рассуждений по поводу "зондов Брейсуэлла" тем, что допускает строгую проверку существующими в наше время средствами. Поэтому целесообразно выяснить подробнее ту роль, которую могут сыграть лагранжевы точки в проблеме поиска разумной жизни во Вселенной и обсудить результаты экспериментов, поставленных нами для проверки гипотезы Брейсуэлла—Ксанфомалити.

Математически строгого и в то же время пригодного для целей астрономической практики общего решения задачи трех тел до сих пор не существует. Тем не менее отдельные частные решения известны сравнительно давно: Эйлером (1765 г.) найдены три стационарных решения (коллинеарные), Лагранжем (1772 г.) — два стационарных решения (треугольные). Движения, соответствующие лагранжевым решениям, таковы, что тело бесконечно малой массы располагается в вершине одного из двух равнобедренных треугольников, образуемых им с телами конечной массы. В обращающихся вместе с главными телами осях положения пассивно гравитирующей массы изображаются двумя неподвижными точками  $L_4$  и  $L_5$  — треугольными точками либрации. В орбитальном движении вокруг

большого из главных тел долготы этих точек отличаются от долготы меньшей из конечных масс на  $\pm 60^\circ$ , причем точка  $L_4$  располагается на орбите впереди, а точка  $L_5$  — сзади меньшего из активно гравитирующих тел. Лагранжевы (треугольные) точки либрации могут быть положениями устойчивого относительного равновесия в синодической системе координат. Однако исчерпывающее исследование условий устойчивости этих точек выполнено пока только для случая плоской круговой ограниченной задачи трех тел [3].

В 1906 г. М. Вольф и вскоре Г. Копф обнаружили вблизи треугольных точек либрации системы Солнце—Юпитер астероиды № 588 Ахиллес (около  $L_4$ ) и № 617 Патрокл (около  $L_5$ ). К настоящему времени насчитывается порядка 700 аналогичных объектов, известных под общим названием "юпитеровых троянцев", из них около 40 довольно больших [4]. Само существование малых планет троянской группы — пусть пока и единственный, но все же очень серьезный аргумент в пользу утверждения о возможности квазистационарного удержания вещества в окрестности треугольных точек либрации задачи трех тел. Именно по этой причине появился ряд предположений о возможности повторения сходной в какой-то мере ситуации и в треугольных точках либрации других планет Солнечной системы. Как показали М. Халлабах и Э. Эверхарт [5], наиболее благоприятной для поисков астероидов на орбите Земли является область в пределах  $\pm 30^\circ$  по эклиптической широте и от  $75$  до  $90^\circ$  по угловому удалению от Солнца. По имеющимся в настоящее время оценкам [6], общее число "земных троянцев", среди которых могут быть тела метровых и даже километровых размеров, достигает десятка. По сравнению с лагранжевыми точками больших планет точки  $L_4$  и  $L_5$  системы Земля—Луна находятся в гораздо более невыгодных условиях, так как возмущаются Солнцем почти в сто раз сильнее, чем, например, лагранжевы точки Юпитера Сатурном. Вместе с тем изучение влияния различных возмущающих факторов на движение в окрестностях треугольных точек либрации представляет несомненный практический интерес, ибо чрезвычайная важность лагранжевых решений для астеродинамики была осознана уже в самом начале космических исследований. Так, еще в 1958 г. В. Клемперер и Е. Бенедикт [7] указали на целесообразность использования треугольных точек либрации системы Земля—Луна в качестве мест дислокации космических аппаратов и поставили вопрос о создании искусственных спутников-либроидов на орбите Земли и Луны. Все возрастающее число публикаций посвящается вопросам существования и устойчивости как самих возмущенных точек либрации Луны, так и периодических орбит вокруг них. Результатом этих исследований является следующий вывод: в системе Земля—Луна корректируемый космический аппарат может достаточно долго функционировать в окрестности либрационных точек Лагранжа  $L_4$  и  $L_5$ , причем для удержания его в этой окрестности не требуется больших энергетических затрат.

Существующие оценки времени "естественного пребывания" тела пренебрежимо малой массы вблизи треугольных точек либрации системы Земля—Луна показывают, что время это варьируется от трех месяцев в работе Л.Г. Лукьянова [8] до полутора лет в работе Б. Шутца и Б. Тэпли [9] и даже до десяти лет в работе В. Фельдта и Э. Шульмана [10].

Однако не ясно, достаточно ли приведенных выше времен "естественного пребывания" для однозначного ответа на вопрос: может ли наблюдаться в лагранжевых точках лунной орбиты реальная концентрация межпланетного вещества?

К. Кордылевский, по-видимому, был первым, кто начал (1956 г.) поиски аналога "троянцев" на лунной орбите. Спустя пять лет он заявил [11] о визуальном обнаружении светящегося объекта в окрестности точки  $L_5$ , объяснив это рассеянием солнечного света частицами пылевого облака. Как свидетельствует Дж. Симпсон [12], позднее К. Кордылевский сообщил А. Мартину в частном письме о визуальных наблюдениях "пылевых облаков" около лунной точки либрации  $L_4$  в период с 16 до 19 сентября 1961 г. Первые фотографии "облаков Кордылевского" были получены в Польше 13 февраля 1966 г. В последовавших вслед за этим сообщениях о многочисленных попытках наблюдения "облаков Кордылевского" отдельные удачные эксперименты чередовались с безрезультатными.

Как известно, например, эффективность рассеяния света пылевыми частицами, линейные размеры которых сравнимы с длиной волны падающей радиации, увеличивается в прямом направлении. Поэтому имеется возможность обнаружить "облака Кордылевского", наблюдая их на малых угловых расстояниях от Солнца, ибо яркость их свечения может в этом случае существенно возрасти. Удобный случай для оценки прямой рассеянной радиации от либрационных облаков представлял полет орбитальной космической станции "Скайлэб", на борту которой имелся солнечный коронограф. Р. Мунро с сотрудниками сделали попытку измерить яркость солнечного света, рассеянного частицами около точек либрации  $L_4$  и  $L_5$  системы Земля—Луна [13], однако рассеивающие пылевые облака в либрационных областях оказались неразличимы на фоне солнечной короны. Одной из причин этого, возможно, является то, что при наблюдениях вблизи Солнца фоновая радиация межпланетной среды может увеличиваться таким же образом, как и свечение от искомых пылевых облаков.

Из сравнения полученных в [13] результатов с наблюдениями в работе [14] Р. Мунро оценивает превышение плотности частиц в облаке по сравнению с межпланетным пространством множителем  $10^2-10^3$  в зависимости от свойств пыли.

По свидетельству Дж. Симпсона [12] попытка радарной локации "пылевых облаков" Кордылевского оказалась неудачной<sup>1</sup>.

К настоящему времени наиболее серьезным подтверждением открытия К. Кордылевского являются наряду с работой Симпсона [12] результаты, полученные Дж. Рочем [14] в 1969—1970 гг. на космическом аппарате OSO-6. Наблюдая свечение ночного неба в области, противоположной Солнцу, он обнаружил вблизи либрационных точек  $L_1$  и  $L_5$  системы Земля—Луна светящиеся объекты с угловым диаметром  $6^\circ$  и поверхностной яркостью 10% от яркости противостояния. Их движение вблизи точек либрации происходит по траектории, представляющей собой эллипс с большой полуосью  $6^\circ$  в плоскости эклиптики и с малой полуосью  $2^\circ$  в перпендикулярном направлении.

Из приведенных выше примеров видно, что результаты наблюдений вещества в окрестностях треугольных либрационных точек системы Земля—Луна существенно расходятся, что, по-видимому, указывает на сложную природу разыгрывающихся в них явлений.

Однако, опираясь на современный уровень наших знаний о межпланетном веществе в окрестностях точек  $L_4$ ,  $L_5$  лунной орбиты, достигнутый в большом количестве теоретических и экспериментальных работ (которые по недостатку места опускаются), можно утверждать, что

<sup>1</sup> Как следует из выступления Ф. Дрейка на настоящем симпозиуме, она была осуществлена им в сантиметровом диапазоне, но не принесла положительных результатов.

1) совокупность имеющихся наблюдений "либрационных облаков" (визуальных, фотографических, фотоэлектрических — как наземных, так и стратосферных, и даже космических) недостаточна для однозначного вывода в пользу их бесспорного существования: нужны новые наблюдения (не только астрономические, но и радиолокационные).

2) наличие в точках либрации пылевых облаков постоянного состава маловероятно (если они и существуют, то не являются постоянными образованиями);

3) если либрационные "облака Кордылевского" в системе Земля—Луна действительно существуют, то их частицы имеют, скорее всего, лунное происхождение; теоретические выводы и результаты наблюдений не исключают наличия в этих облаках отдельных притягивающих тел с размерами порядка нескольких метров.

Обращает на себя внимание, что удачные наблюдения пылевых облаков в лагранжевых точках лунной орбиты Кордылевским [11], Симпсоном [12] и Рочем [14] падают на периоды вблизи минимума солнечной активности. Это наводит на мысль, что концентрация пыли в лагранжевых точках, а следовательно, и видимость пылевых облаков коррелирует с ее изменениями.

Приведенный краткий обзор вполне достаточен для того, чтобы оценить роль лагранжевых точек в проблеме поиска ВЦ.

Любая цивилизация, решившая послать космический аппарат к звезде с планетной системой (хотя бы типа Солнечной), должна обладать необходимым объемом знаний в области небесной механики многих тел. Естественно, что пилотируемый космический аппарат, достигший Солнечной системы, располагает достаточно большим запасом возможностей при выборе наиболее удобного положения для наблюдений (по определению они знают больше нас, ибо могут послать пилотируемый аппарат, а мы пока лишь обсуждаем проекты типа "Дедал" [15]). Для него лагранжевы точки не имеют больших преимуществ перед другими стационарными орбитами вокруг исследуемых небесных тел.

Иначе обстоит дело с непилотируемым космическим аппаратом типа зонда. В силу неизбежных ограничений на массу и объем его возможности будут также ограничены. Поэтому именно он может быть рассчитан на использование известных и нам простейших стационарных решений задачи трех тел (например, лагранжевых стационарных решений, соответствующих точкам  $L_4$ ,  $L_5$  планетных орбит). При этом четко выявляются их преимущества: во-первых, движение двух тел звездной планетной системы достаточно хорошо описывается кеплеровскими законами и будут наблюдаться с зонда примерно на равных расстояниях; во-вторых, практическая устойчивость лагранжевых точек обеспечивает привязку зонда в координатном пространстве звезды; в-третьих, упрощается высоконаправленная информационная связь с звездой или космическим кораблем.

По предположению Ксанфомалити, зонд, локализованный вблизи лагранжевых точек системы Земля—Луна, может, в частности, ретранслировать примечательные новые радиосигналы, возникающие в результате утечки с поверхности Земли [2]. Наряду с адресатом такая ретрансляция может быть зарегистрирована на Земле как радиоэхо исходных посылок. Сигналы радиоэхо с задержками, во много раз превышающими задержку кругосветного эхо ( $\sim 130$  мс), действительно иногда наблюдаются в экспериментах с наземными радиостанциями. Явление задержанного радиоэхо впервые наблюдалось Ван-дер-Полем еще в 1927 г. в диапазоне 9—15 МГц. Мощность его установки составляла порядка 15 кВт, а антенной служил одиночный провод. В дальнейшем специальные наблюдения задержанного радиоэхо не-



однократно проводились в разных ионосферных условиях. Необычно большие задержки во времени в сочетании с относительно малым затуханием и искажением исходного сигнала до сих пор не нашли единого общепринятого объяснения в рамках теории ионосферного распространения радиоволн [16]. Особенности задержанного радиоэха, по-видимому, послужили основой для гипотезы Ксанфомалити [2]. Согласно этой гипотезе, сигнал, посланный с Земли, может восприниматься зондом в лагранжевых точках, если он необычен, т.е. отличается от других сигналов, поступающих с земной поверхности, по частоте, мощности, времени и месту появления. Подобная ситуация, на наш взгляд, вновь возникла в связи с созданием в НИРФИ научно-исследовательского комплекса для нагрева ионосферы и локации объектов ближнего космоса на частотах 4,5–9,5 МГц. Установка способна, в частности, создавать в лагранжевых точках лунной орбиты направленные радиосигналы, превышающие по мощности на три порядка сигналы в экспериментах Ван-дер-Поля.

Было принято решение использовать потенциальные возможности комплекса для проверки гипотезы Брейсуэлла–Ксанфомалити и приурочить пробные выходы передатчиков в эфир в конце 1980 г. к началу этих экспериментов. Наблюдения проводились зимой в ночное время суток на частоте 9,3 МГц, через 3 ч после захода Солнца и за 3 ч до его восхода. Программа экспериментов составлялась с учетом положения либрационных точек  $L_4$  и  $L_5$  лунной орбиты на небесной сфере, предвычисленных заранее [17], возможного диапазона углов сканирования антенн комплекса и прогноза критических частот  $F$ -слоя ионосферы. Продолжительность сеанса порядка 40 мин определялась временем прохождения либрационной точки через главный лепесток приемно-передающей системы с шириной на уровне половинной мощности порядка  $6^\circ$ . Радиосигналы посылки формировались в виде импульсов длительностью в 1 с с паузой 4 с. Эффективная мощность станда составляла 25 МВт. Прием ответных радиосигналов производился в полосе 1,5 кГц с постоянной времени около 0,2 с на частоте 9,3 МГц. Калибровка приемно-передающего тракта осуществлялась путем радиозондирования Луны. В отсутствие помех от наземных станций радиоэхо от Луны в 30–60 раз превышало средний уровень радишумов, который в полосе приема определялся космической эффективной температурой  $2 \cdot 10^5$  К.

С декабря 1980 г. по март 1981 г. было проведено 4 серии наблюдений в дни, когда зенитный угол либрационных точек  $L_4$ ,  $L_5$  составлял менее  $40^\circ$  и попадал в зону возможного сканирования луча антенны. Критические частоты  $F$ -слоя ионосферы, как правило, не превышали 3–4 МГц. Всего проведено около 25 сеансов. Во всех без исключения сеансах каких-либо следов задержанного радиоэха, превышающих больше чем в два раза уровень космического радишума, в том числе с характерным временем задержки 2,5 с, отвечающим расстоянию до либрационных точек лунной орбиты, обнаружено не было.

Таким образом, в рамках гипотезы Брейсуэлла–Ксанфомалити можно утверждать, что с декабря 1980 г. по март 1981 г. в области лунных лагранжевых точек не было зондов с эффективной мощностью передатчика в направлении Земли, превышающей  $10^{-2}$  Вт и активно ретранслирующих радиосигналы с эффективной мощностью около 25 МВт. Этот результат в определенном смысле дополняет оптические наблюдения Фрейтаса [18]. В период август–сентябрь 1979 г. он не обнаружил в области лагранжевых точек лунной орбиты твердых тел размером порядка "Скайлэба" или больше. Наши наблюдения показывают, что во время наблюдений там не было и искусственных зондов-ретрансляторов.

Отсюда, конечно, не следует, что они там не были или в принципе не мо-

гут появиться в будущем на время естественного пребывания. Вместе с тем довольно низкая вероятность такого события делает эпизодические наблюдения неэффективными.

По-видимому, гипотеза Брейсуэлла–Ксанфомалити может быть надежной проверена, если наблюдения за лунными лагранжевыми точками будут проведены (хотя бы по изложенной выше методике) непосредственно после обнаружения на Земле значительной серии ЗРЭ с запаздыванием в 2–3 с, либо сами точки станут объектом устойчивого научного интереса и подвергнутся систематическим наблюдениям независимо от этой гипотезы.

В заключение следует кратко коснуться второй возможности в связи с тем, что наши наблюдения оказались слишком грубыми для оценки плотности вещества в окрестностях лагранжевых точек лунной орбиты. Результаты наблюдений показывают лишь, что в момент эксперимента там не было скоплений плазмы с электронной концентрацией порядка  $10^6$  частиц/см<sup>3</sup> в области размером порядка  $2,6 \cdot 10^6$  см. Вместе с тем существует несколько явлений, природа которых по-прежнему остается неясной. К их числу следует отнести оптические наблюдения облаков Кордылевого, осуществляемые неоднократно с переменным успехом, уже упоминавшееся явление задержанного радиоэха [16], импульсное спорадическое радиоизлучение околоземного пространства [19] и вспышки блеска комет [20].

Все эти довольно разнообразие феномены могут быть, на наш взгляд, связаны с кратковременным повышением плотности ионизированного газа в локальных областях межпланетного пространства. В случае задержанного радиоэха такие сгустки плазмы играют роль экрана для декаметровых радиоволн, а при столкновении с газовыми оболочками комет или газопылевыми комплексами типа облаков Кордылевого в лагранжевых точках лунной орбиты они являются источником излучения в широком диапазоне частот, чем, в частности, и объясняются трудности в их наблюдении.

Впервые гипотеза о существовании облаков солнечного ветра была выдвинута в работе [20] в связи с наблюдениями мощных грозových явлений в хвостах комет Швассмана–Вахмана I, Юмассона 1962 VII и других<sup>2</sup>.

В случае спорадического радиоизлучения околоземного пространства [19] до сих пор остается неясным источник возбуждения одиночных всплесков, покрывающих своим излучением обширную территорию поверхности Земли размером порядка  $10^4$  км.

Как показали простейшие оценки, для того чтобы все перечисленные выше явления имели место, достаточно допустить локальное превышение плотности заряженных частиц в облаках солнечного ветра над его общепринятой максимальной плотностью ( $4 \cdot 10^2$  ион/см<sup>3</sup> [21]) на 4–5 порядков. Разумеется, возникновение столь плотных плазменных образований может быть связано с особыми условиями в межпланетном пространстве. Даже отдаленный прогноз таких событий ныне полностью отсутствует. Особое место при этом занимают лагранжевы точки лунной и земной орбит.

Механизм накопления вещества в них может оказаться весьма специфическим, так как увеличение концентрации заряженных частиц происходит за счет стекания околоземной и окололунной плазмы и всех видов электронной и ионной эмиссии, под действием фотонного и корпускулярного солнечного излучения. С другой стороны, солнечный ветер, по-видимому,

<sup>2</sup>Принятый в [20] термин "солнечные плазмоиды", по-видимому, не вполне удачен, так как подразумевает их образование непосредственно в солнечной короне. В действительности на расстояниях порядка нескольких астрономических единиц от Солнца вполне могут проявляться эффекты пространственной и скоростной группировки, а также самофокусировки заряженных частиц в магнитных полях корпускулярных потоков солнечного ветра.

в состоянии несколько очистить околоземное пространство от пыли, газа и плазмы, поэтому наблюдения, аналогичные проведенным нами, разумно повторить в минимуме солнечной активности, желательнее с более усовершенствованной методикой.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. *Bracewell R.N.* — Nature, 1960, vol. 186, p. 670.
2. *Ксанфомалити Л.В.* — В кн.: Проблема поиска внеземных цивилизаций. М.: Наука, 1981, с. 55.
3. *Маркеев А.П.* — В кн.: Точки либрации в небесной механике и космодинамике. М.: Наука, 1978.
4. *Малые планеты.* М.: Наука, 1973, с. 360.
5. *Hollabaugh M., Everhart E.* — Astrophys. Lett., 1973, vol. 15, N 1, p. 1.
6. *Симоненко А.Н.* Метеориты — осколки астероидов. М.: Наука, 1979, с. 68.
7. *Klemperer W.B., Benedikt E.T.* — Astronaut. Acta, 1958, vol. 4, N 1, p. 25.
8. *Лукьянов Л.Г.* — Вестн. МГУ. Сер. 3, Физика, астрономия, 1967, т. 1, с. 9.
9. *Schutz B.E., Tapley B.D.* — In: Orbits stability and resonances / Ed. Giacaglia G.E.O. Reidel Dordrecht, Holland, 1970, p. 128.
10. *Feldt W.T., Shulman E.* — AIAA Journ., 1966, vol. 4, N 8, p. 1501.
11. *Kordylewski K.* — Acta Astronomica, 1961, vol. 11, N 3, p. 165.
12. *Sympson J.W.* — Physics Today, 1967, vol. 20, N 2, p. 39.
13. *Munro R.H., Gosling J.T., Hildner E. et al.* — Planet. Space Sci., 1975, vol. 23, N 9, p. 1313.
14. *Roach J.R.* — Planet. Space Sci., 1975, vol. 23, N 1, p. 173.
15. *Martin A., Bond A.* — Strategies for the Search for the life in the Universe / Ed. Papagianis M. Dordrecht, Holland, 1980, p. 197.
16. *Шлюнский А.Г.* Дальнее распространение радиоволн в ионосфере. М.: Наука, 1979, с. 42.
17. *Лукьянов Л.Г., Сучкин Г.Л., Ширмин Г.И.* — Астрон. вестн., 1982, т. 16, № 3, с. 183.
18. *Freitas R.A., Valdes F.* — Icarus, 1980, vol. 42, N 3, p. 442.
19. *Троицкий В.С., Стародубцев А.М., Зелинская М.Р.* и др. — Изв. вузов. Радиофизика, 1973, т. 16, № 3, с. 323.
20. *Всехсвятский С.К.* Кометный циркуляр. Киев, 1979, № 248.
21. *Солнечная и солнечно-земная физика.* М.: Мир, 1980.

УДК 523.164+008.523.07

Л.М. Ерухимов

### ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ РАСПРОСТРАНЕНИЯ РАДИОВОЛН В МЕЖЗВЕЗДНОЙ СРЕДЕ НА СИГНАЛЫ ВНЕЗЕМНЫХ ЦИВИЛИЗАЦИЙ

Когда речь идет об оптимальном приеме радиосигналов внеземных цивилизаций (ВЦ), то необходимо иметь представление о характере и величине искажений, которые возникают при распространении сигналов в среде. В принципе, при своем распространении сигналы могут проходить через атмосферы планет-корреспондентов, межпланетные и межзвездную среды, а влияние среды сводится в основном к поглощению радиоволн и к частотным, временным и пространственным искажениям их амплитуды и фазы из-за эффектов рассеяния и дифракции волн на неоднородностях.

Если речь идет о сигналах достаточно высокой частоты ( $f > 0,5-1$  ГГц), то поглощением радиоволн в межпланетной и межзвездной плазме можно пренебречь при исключении из рассмотрения слабоионизированных холодных облаков газа [1]. Поглощение в атмосферах планет в линиях атмосферных составляющих, как известно, может быть значительным.

Однако в случае целенаправленной передачи сигналов корреспондент либо это обстоятельство учитывает при выборе диапазона излучения или высоты расположения излучателя, либо пытается им воспользоваться, рассматривая возможности создания атмосферных мазеров.

Ниже основное внимание будет сосредоточено на эффектах рассеяния радиоволн. Будем считать, что мы всегда имеем дело со случаем, когда длины волны  $\lambda$  много меньше характерных масштабов неоднородностей  $l$ , ответственных за наблюдаемые эффекты. Предположим, что радиоволна проходит через слой толщины  $L$  с неоднородностями показателя преломления  $\Delta n$ . Тогда величина флуктуаций геометрико-оптической фазы  $S$  (т.е. фазы, вычисленной в приближении геометрической оптики)

$$S(L) = k_0 \int_0^L \Delta n(s) ds, \quad (1)$$

где  $s$  — текущая координата "луча";  $k_0 = 2\pi/\lambda$ . Величину  $S$  удобно характеризовать ее корреляционной функцией  $\Gamma_S(\rho_{\perp}, L) = \langle S(L, r_{\perp}^1) S(L, r_{\perp}^2) \rangle$ , средним квадратом флуктуаций  $S_0^2 = \Gamma_S(\rho_{\perp} = 0)$  или спектральной плотностью флуктуаций  $\Phi_S(k_{\perp})$ , которая является фурье-образом от  $\Gamma_S(\rho_{\perp}, L)$  (здесь  $\rho_{\perp} = r_{\perp}^1 - r_{\perp}^2$ ). Усреднение везде осуществляется по набору реализаций (этот вопрос более подробно обсуждается ниже). Тогда

$$\Gamma_S(L, \rho_{\perp}) = k_0^2 \iint_0^L \Gamma_{\Delta n}(S' - S'', \rho_{\perp}) dS' dS''. \quad (2)$$

Здесь мы считаем, что  $\Gamma_{\Delta n}$  в основном зависит только от разности координат, т.е. среда квазиоднородна. Если мы пренебрежем искривлением луча при его распространении (вследствие эффектов рассеяния и рефракции) и положим  $\Gamma_{\Delta n}(\rho_S, \rho_{\perp}) = \langle (\Delta n)^2 \rangle \exp\{-\rho_S^2 + \rho_{\perp}^2 / l^2\}$  (спектральная плотность флуктуаций  $\Phi_{\Delta n}(k) \sim \langle (\Delta n)^2 \rangle \exp\{-k^2 \rho^2 / 4\}$ ), то

$$\Gamma_S(L, \rho_{\perp}) = S_0^2 \exp\{-\rho_{\perp}^2 / l^2\}, \quad S_0^2 \approx k_0^2 \sqrt{\pi} \langle (\Delta n)^2 \rangle l L \quad (L \gg l). \quad (3)$$

Смысл соотношения для  $S_0^2$  легко понять: при прохождении единичной неоднородности  $S_{00}^2 = k_0^2 \langle (\Delta n)^2 \rangle l^2$ , а  $S_0^2 = S_{00}^2 N_n$ , где  $N_n$  — число некоррелированных неоднородностей, равное  $L/l$ . При просвечивании плазмы радиоволнами частоты  $f$ , много большей ленгмюровской частоты  $f_{e0} = (e^2 N / \pi m)^{1/2}$  ( $e$  и  $m$  — заряд и масса электронов, а  $N$  — их концентрация):

$$S_0^2 \approx 1,4 \cdot 10^{-4} \delta N^2 N^2 l L, \quad (4)$$

где  $\delta N^2 = \langle (\Delta N)^2 \rangle / N^2$ . Если спектры  $\Phi_{\Delta n}(k)$  или  $\Phi_N(k)$  имеют форму, отличную от гауссовой, например

$$\Phi_N(k) \propto k^{-p}, \quad (5)$$

то, учитывая, что  $\delta N_{k_1}^2$  есть интеграл от  $\Phi_N(\vec{k})$  по  $d\vec{k}$  до "интересующего" волнового числа  $k_1$ , имеем  $\delta N_{k_1}^2 \propto k_1^{-p+3} \exp^{-p}$  и

$$S_{0k_1}^2 \propto l^{p-2} f^2. \quad (6)$$

Таким образом, можно оценить характер поведения  $S_0^2$  в области разных  $k_1$ . Аналогично (2) мы могли бы написать функцию частотной корреляции фазы  $\Gamma_S, \omega = \langle S(\omega_1) S(\omega_2) \rangle$  и с ее помощью оценить степень коррелированности флуктуаций различных частотных компонентов, что достаточно важно при рассмотрении вопросов двухчастотного приема и расплывания импульсного сигнала. Заметим, что здесь принципиальным

становится учет искривления лучей, так как если лучи, соответствующие волнам разной частоты, разойдутся на характерный масштаб  $l$ , то корреляция между флуктуациями исчезнет. Например, для рассмотренного случая плазмы с гауссовым спектром

$$\Gamma_{S, \omega}(\rho_{\perp} = 0) \approx S_0^2 \exp(-\rho_{\perp}^2 \omega / l^2), \quad |\omega_1 - \omega_2| \ll \omega_{1,2}. \quad (7)$$

Расхождение лучей  $\rho_{\perp, \omega}$  может определяться как регулярной рефракцией в среде, так и влиянием крупномасштабных неоднородностей среды. В первом случае по порядку величины

$$\rho_{\perp, \omega} \approx 4\delta e^2 N_{\text{tot}} / \pi m \bar{f}^2 (1 - \delta^2)^2, \quad (8)$$

где  $\delta = (f_2 - f_1) / (f_1 + f_2)$ ,  $\bar{f} = (f_1 + f_2) / 2$ ,  $f = \omega / 2\pi$ , а  $N_{\text{tot}}$  — интегральная концентрация электронов на луче зрения. При  $\delta = 5 \cdot 10^2$ ,  $\bar{f} = 10^9$  Гц,  $N_{\text{tot}} = (30-100)$  пк/см<sup>3</sup> величина  $\rho_{\perp, \omega} \sim 10^9$  см. Во втором случае

$$\rho_{\perp, \omega} \sim R_{\text{min}} \vartheta_p 2\delta / (1 - \delta^2)^2, \quad (9)$$

где  $\vartheta_p$  — угол рефракции на крупных неоднородностях, а  $R_{\text{min}}$  — минимальное из четырех расстояний: от передатчика (приемника) волн до крупных или мелких неоднородностей. Эффект существует, если есть либо два выделенных масштаба неоднородностей (двухмасштабная модель), либо в спектре неоднородностей имеется характерный излом (суперпозиция двух степенных спектров). Если вместо  $\rho_{\perp, \omega}$  мы вычислим величину  $\rho_{\perp, H}$  — расхождение "лучей" волн обыкновенной и необыкновенной поляризации, то величина  $\langle S_{\perp} S_{\parallel} \rangle$  будет характеризовать степень хаотической деполаризации исходного сигнала линейной поляризации (хаотическое вращение поляризационного угла). Можно показать, что в этом случае степень линейной поляризации

$$\eta_{\text{л}} \approx \exp \left[ - \frac{2\omega^2 H_{\perp} L}{\omega^2} S_0^2 \right] \exp [-D_S(\rho_{\perp}, H)],$$

где  $\omega_{H, L} = \omega_H \cos \alpha$ ;  $\omega_H = eH/mc$ ;  $H$  — напряженность магнитного поля;  $\alpha$  — угол между  $\vec{H}$  и направлением распространения волны;  $c$  — скорость света;  $D_S(\rho) = 2\{\Gamma_S(0) - \Gamma_S(\rho)\}$ , а  $\rho_{\perp, H}$  в случае регулярной рефракции равно

$$\rho_{\perp, H} \approx \frac{e^3}{4\pi^3 f^3 m^2 c} \int \sin 2\alpha H N dr. \quad (10)$$

Нетрудно убедиться, что для условий межзвездной среды ( $H \sim 10^{-6}$  Гс,  $N_{\text{tot}} \sim 10^{20}$  см<sup>-2</sup>) на  $f \sim 1$  ГГц величина  $\rho_{\perp, H}$  не превосходит  $10^4$  см.

Если положить в (8) и (9)  $\rho_{\perp, \omega} = l/S_0$ , то найденная из этого условия величина  $\Delta f_p = f_2 - f_1$  будет характеризовать характерный масштаб корреляции между напряженностью полей разной частоты  $\Delta f_{\text{чк}}$  (рефракционный радиус частотной корреляции). Существует и другой дифракционный радиус частотной корреляции, который обусловлен в отличие от (9) рассеянием на таких же мелких неоднородностях. Угол рассеяния для гауссовых неоднородностей равен

$$\vartheta_S \approx \lambda S_0 / \pi l = \lambda / \pi l E. \quad (11)$$

Отсюда из (9) и условия  $\rho_{\perp, \omega} = l/S_0$  ( $S_0^2 \gg 1$ ) имеем

$$\Delta f_g \approx \pi l_E^2 f^2 / \bar{R} c. \quad (12)$$

Здесь с учетом более строгих соотношений  $R_{\text{min}}$  заменено на  $\bar{R} = R_1 R_2 / (R_1 + R_2)$ , где  $R_1$  и  $R_2$  — характерные расстояния от передат-

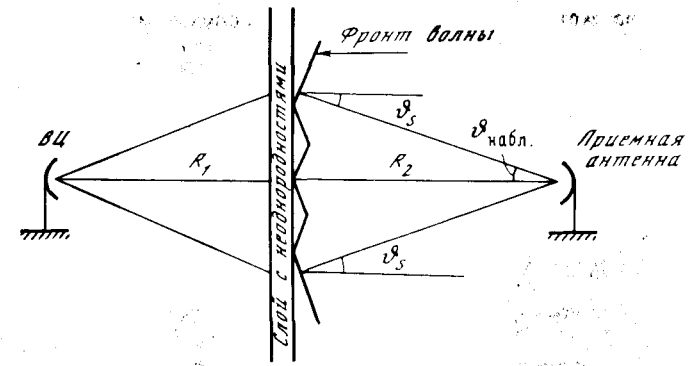


Рис. 1

чика и приемника волн до слоя с рассеивающими неоднородностями. Величины  $\vartheta_S$  определяют угловой спектр рассеянных волн и характер многолучевости принимаемого сигнала. Легко убедиться, что при рассеянии волн в слое толщины  $L \ll R_{1,2}$  (измеряемый ("видимый" из точки приема) угол рассеяния (рис. 1)

$$\vartheta_{\text{набл}} = \vartheta_S R_1 / (R_1 + R_2). \quad (12a)$$

Из (12a) видно, что если  $\vartheta_{\text{набл}} R_2 < l$ , то вклад в рассеяние в точке приема волны будет вносить участок слоя (в направлении, ортогональном "лучу"), меньший масштаба неоднородностей. В этом случае сигнал носит однолучевый характер и говорят о флуктуациях угла прихода волн<sup>1</sup>. Если же  $\vartheta_{\text{набл}} R_2 > l$  ( $\lambda \bar{R} S_0 / l^2 > 1$ ), то поле в точке приема определяется многими некоррелированными компонентами. В этом случае говорят о статистической многолучевости сигнала. С величинами  $\vartheta_S$  и  $\vartheta_p$  связаны эффекты уширения импульсного сигнала и доплеровского смещения частоты. Первый эффект обусловлен запаздыванием рассеянных волн, путь которых вследствие искривления "луча" увеличивается. Легко убедиться, что для тонкого рассеивающего слоя и  $\vartheta_S \ll 1$  время запаздывания рассеянных волн (см. рис. 1)  $\tau = \bar{R} (1/\cos \vartheta_S - 1)/c \approx \bar{R} \vartheta_S^2 / 2c$ . Можно показать, что величина  $\tau$  примерно равна минимальной из величин  $\Omega_p = 2\pi \Delta f_p$  или  $\Omega_g$ . При  $\vartheta_S \bar{R} \ll l$  импульс хаотически смещается за время смены реализации (см. ниже), а в обратном предельном случае имеет место его хаотическое уширение.

Если неоднородности перемещаются в направлении, ортогональном лучу зрения, со скоростью  $v$ , то имеют место доплеровские вариации и уширение частотного спектра сигнала

$$\Delta f_D \approx f \frac{v}{c} \vartheta_S \approx v/l_E. \quad (13)$$

При  $\vartheta_S \bar{R} \ll l$  наблюдаются хаотические смещения частоты исходного сигнала на величину  $\Delta t_D$  с характерным временем изменения (время смены реализации)  $\Delta f_D = v/l$ . В случае  $\vartheta_S \bar{R} \gg l$  спектр сигнала имеет ширину порядка  $\Delta f_D$  и колебания формы спектра происходят со временем  $t \sim l_E/v$  ( $\rho_0^2 \gg 1$ ). Когда в среде имеются крупные неоднородности, перемещающиеся относительно мелких, кроме непосредственного изменения  $\Delta f_D$ , они могут, вызывая эффективное перемещение луча со ско-

<sup>1</sup> Условие  $\vartheta_{\text{набл}} R_2 < l$ , как легко видеть, эквивалентно условию  $\lambda \bar{R} S_0 / l^2 < 1$ .

ростью  $v_{эф}$  (за счет изменения рефракции) в случае, когда скорость движения крупных и мелких неоднородностей различна, быть ответственными за дополнительные вариации  $\Delta f_D$ . При этом в (13) вместо  $v$  входит  $v_{эф}$ .

Используя нормальный закон распределения поля при  $v_S R \gg 1$ , легко вычислить величину флуктуаций интенсивности  $I$  сигнала

$$F = \frac{\langle I^2 \rangle - \langle I \rangle^2}{\langle I \rangle^2} = 1 - \langle E \rangle^4 \quad (\langle I \rangle = 1, E = \langle E \rangle + E_S, \langle E_S \rangle = 0). \quad (14)$$

Здесь среднее поле волны

$$\langle E \rangle \approx \exp[-S_0^2/2] \quad (14a)$$

характеризует долю нерассеянного сигнала. Она пренебрежимо мала при  $S_0^2 \gg 1$ . При  $S_0^2 < 1$  рассеянный сигнал меньше прямого и рассмотренные выше эффекты незначительно влияют на структуру сигнала от ВЦ.

Нетрудно убедиться из (6) и (11), что для степенного спектра (5)

$$\vartheta_{S_k} \approx l^{(p-4)/2} f^{-2} \quad (15)$$

и при  $p < 4$   $\vartheta_{S_k}$  увеличивается с ростом  $k$ . Очевидно, что в области больших  $k$ , т.е. начиная с определенного граничного масштаба  $l_m \approx 2\pi/k_m$ , спектр должен убывать с ростом  $k$  не медленнее, чем  $k^{-2}$ . С другой стороны, величина  $\vartheta_S^2$  определяется пределом  $\partial^2 D_S(\rho)/\partial \rho^2$  при  $\rho \rightarrow 0$ . Поэтому если в области граничного масштаба величина  $S_0^2 > 1$ , то  $\vartheta_S$  всегда определяется граничным масштабом и этим же масштабом определяются величины  $\tau$ ,  $\Delta f_g$  и  $\Delta f_D$ . Вместе с тем неоднородности размера  $l \sim 2\pi/k_1$ , для которых  $S_{0k_1}^2 < 1$ , не вносят заметного вклада в эффекты доплеровского изменения частотного спектра сигнала, изменение его формы и др. В связи с этим можно считать, что основной вклад в обсуждаемые эффекты при  $2 < p < 4$  будут вносить неоднородности с таким минимальным масштабом, для которого  $S_{0k_1}^2 \approx 1$ . С учетом этого условия из (6) следует, что  $l_f \sim f^2/(p-2)$ . Отсюда, а также из (11), (12) и (15) можно получить выражения, позволяющие определить частотные зависимости  $\vartheta_S$ ,  $\Delta f_g$ ,  $\Delta f_D$  и др. в области частот, для которых  $S_{0k_1}$  может превышать единицу в области степенного поведения спектра:

$$\vartheta_S \sim f^{-p/(p-2)}, \quad \Delta f_g \sim f^{2p/(p-2)}, \quad \Delta f_D \sim f^{2/(p-2)}. \quad (16)$$

Эти формулы часто приводятся в радиоастрономической литературе [2], но без указания и пояснения весьма жестких пределов их применимости.

Таким образом, для оценки влияния среды распространения необходимо прежде всего оценить величину  $S_{0k_1}$  и в области  $S_{0k_1} > 1$  с помощью приведенных выше выражений определить величину и характер возможных эффектов рассеяния.

Начнем с межзвездной среды, которая в силу своей протяженности вносит, по-видимому, основной вклад в эффекты рассеяния.

За последние 15 лет достигнуты большие успехи в исследованиях межзвездной турбулентности, которые начали бурно развиваться после открытия радиоизлучения пульсаров [2-5]. Было установлено, что на пути распространения излучений от пульсаров находится мелкомасштабная турбулентность плазмы с характерными масштабами  $l \sim 10^9 - 10^{11}$  см и относительными флуктуациями концентрации  $\delta N$  в области указанных масштабов, равной  $(0,5-2) \cdot 10^{-2}$ . Кроме того, как было указано в [6, 7], в межзвездной среде существуют и неоднородности более крупных масштабов ( $l_k \sim 10^{12} - 10^{14}$  см), которые могут вызвать как глубокие замирания сигналов на частоте  $f \lesssim (0,1-0,3)$  ГГц, так и флуктуации угла

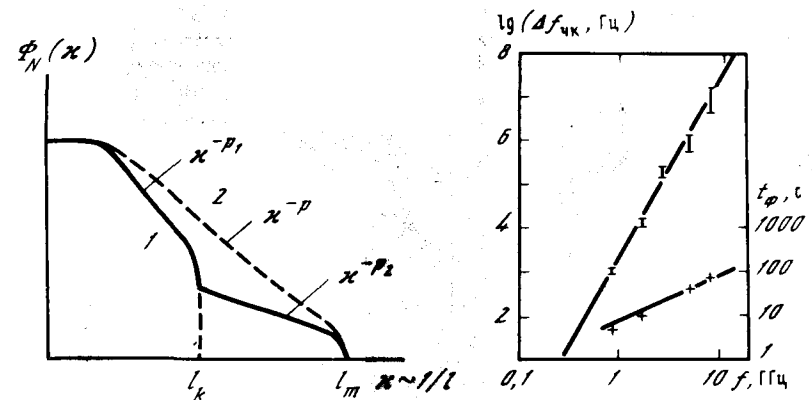


Рис. 2

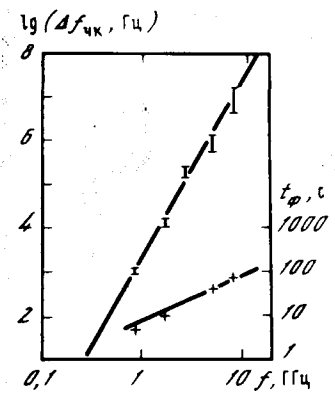


Рис. 3

рефракции на более высоких частотах, изменив тем самым характер доплеровских замираний и расплывание импульсов.

Однако до сих пор не совсем ясным остаются следующие вопросы. Какова форма спектра межзвездной турбулентности, каково распределение в Галактике неоднородностей различных масштабов и где находится масштаб обрезания спектра со стороны малых масштабов?

На рис. 2 показаны три типа спектра  $\Phi_N(k)$ , которые могут существовать в межзвездной среде. В принципе возможно существование во всей среде комбинированного двухстепенного спектра (кривая 1) с масштабом обрезания  $l_m \leq 10^{10}$  см и масштабом излома  $l_k \sim 10^{12}$  см или чисто степенного спектра в области масштабов  $10^{10} \leq l \leq 10^{14}$  см (кривая 2). Возможна и ситуация, когда крупномасштабные и мелкомасштабные неоднородности расположены в изолированных областях, либо крупные неоднородности заполняют всю межзвездную среду, а мелкие расположены в изолированных областях Галактики.

В [8] приведены аргументы в пользу локальности мелкомасштабной межзвездной турбулентности (МЗМТ). Было показано, что МЗМТ в основном должна быть сосредоточена в оболочках сверхновых, областях H II и др. (впоследствии к такому выводу пришли и в ряде других работ [2, 9]). Приведем несколько основных аргументов в пользу такой точки зрения. Во-первых, мелкомасштабная турбулентность должна быть наиболее интенсивной вблизи активных объектов (примером может служить наша межпланетная среда), инжектирующих потоки частиц. Во-вторых, существуют две локальные области (Крабовидная туманность и Вела X), которые вносят существенный вклад в рассеяние радиоизлучения пульсаров, расположенных в этих областях. На рис. 3 для иллюстрации мы приводим взятую из [10] зависимость радиуса частотной корреляции  $\Delta f_{чк}$  и характерного времени декорреляции  $t_\phi$  (величины, обратной  $\Delta f_D$ ) от частоты наблюдения за пульсаром в Вела X. Эта кривая может характеризовать, по-видимому, близкую к максимальной  $\Delta f_D$  при радиосвязи с ВЦ на расстояниях  $R \sim (1-3)$  кпк. Кроме того, наблюдается сильная неоднородность величины флуктуаций (меры мерцаний) при просвечивании излучения пульсаров различных областей Галактики [2]. Контраргумент состоит в том, что в случае, когда неоднородности заполняют всю межзвездную среду и  $R \sim L$ ,

<sup>2</sup> В плазме одним из характерных масштабов, характеризующих обрезание спектра, является гирорадиус ионов, который для условий межзвездной среды  $\approx 10^9$  см.

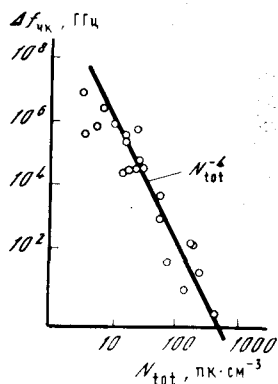


Рис. 4

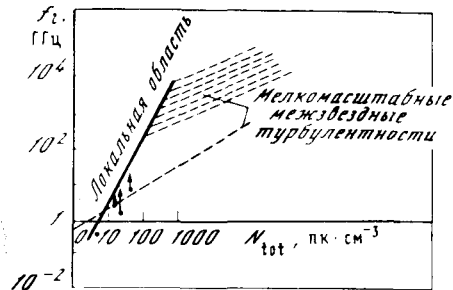


Рис. 5

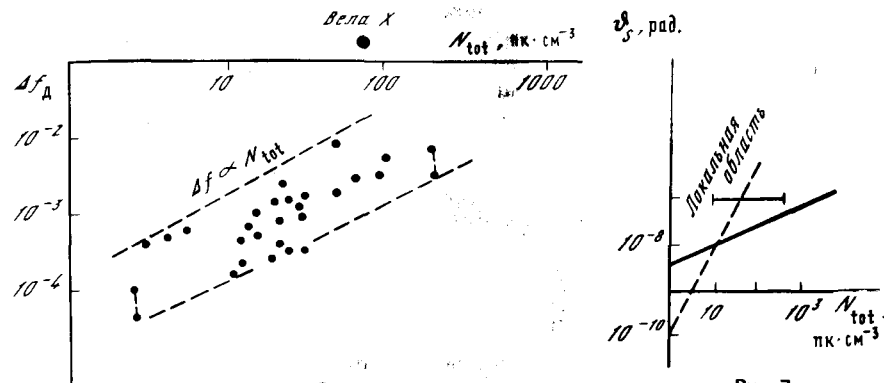


Рис. 6

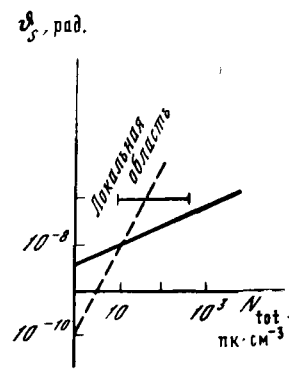


Рис. 7

согласно (12)

$$\Delta f_g \sim (S_0^2 \bar{R})^{-1} \sim N_{tot}^{-2}. \quad (17)$$

Эта зависимость не противоречит наблюдаемой [10].

Предположим, однако, что значительный вклад в излучение пульсаров вносят локальные оболочки, например области H II, для которых размер  $L_H$  и концентрация ионизированных частиц (ионизация источником, расположенным внутри области) подчиняются соотношению  $N^{2/3} L_H = \text{const}$  (см., например, [1]). Тогда

$$\Delta f_g \sim \frac{1}{\delta N^2 N^2 L_H \bar{R}} \sim \frac{1}{\bar{R} \delta N^2} N_{tot}^4, \quad (18)$$

если значительный вклад в  $N_{tot}$  вносит эта область. Приводя на рис. 4 экспериментальные данные о  $\Delta f_{чк}$  [11] (относящиеся к частоте 318 МГц) в зависимости от  $N_{tot}$  до изучаемых пульсаров, мы хотим, кроме того, подчеркнуть, что эти данные не противоречат и (18).

Отметим, что экспериментальная проверка зависимостей  $\Delta f_D$  и  $\Delta f_{чк}$  от  $N_{tot}$  и друг от друга, которые легко установить из приведенных выше формул, может дать ответ на вопрос о распределении мелкомасштабной турбулентности в Галактике. На рис. 5 и 6 приведены зависимости граничной частоты  $f_g$ , ниже которой  $S_0^2 (l \sim 10^2 - 10^{11} \text{ см}) \gg 1$ , и доплеровской ширины спектра  $\Delta f_D$  от  $N_{tot}$  для двух моделей: локальной ( $f_g \sim \Delta f_D \sim N_{tot}^{1/2}$ ) и "непрерывной" ( $f_g \sim \Delta f_D \sim N_{tot}$ ). Точками на этих рисунках изображены "отрывочные" экспериментальные данные, взятые из различных работ (и приведенные на рис. 6 к частоте 1,2 ГГц). На больших расстояниях, в силу увеличения вероятности нахождения на луче зрения локальной области, результаты, приведенные на рис. 5 и 6, должны соответствовать случаю "непрерывной" среды. Последнее должно иметь место на  $R > 1-3$  кпк. Из рисунков видно, что при  $N_{tot} \leq 100$  пк·см<sup>-3</sup>  $f_g \leq 10$  ГГц, а  $\Delta f_D$  на частоте 1,2 ГГц не превышает  $3 \cdot 10^3$  Гц. Исключение составляет пульсар в Вела X, для которого  $\Delta f_D \sim 0,1$  Гц<sup>3</sup>.

На рис. 7 приведена расчетная зависимость угла рассеяния  $\vartheta_S$  на частоте 1,4 ГГц для двух указанных моделей и указаны ориентировочные экспериментальные данные для  $\vartheta_S$ .

<sup>3</sup>Заметим, что согласно оценкам в Вела X и активных областях Крабовидной туманности  $\delta$  различные масштабы неоднородностей могут составлять  $10^6 - 10^7$  см.

Возникает вопрос: каковы будут перечисленные выше величины, если один из корреспондентов будет находиться вблизи центра Галактики? Этот вопрос нуждается в дальнейшем уточнении. К экстраполяции приведенных результатов в эту область нужно относиться с большой осторожностью.

На основании проведенного рассмотрения можно считать, что с точки зрения межзвездной среды для радиоволн на частотах  $f > 1$  ГГц от ВЦ, расположенных на расстоянии  $R < 100$  пк, полоса пропускания при приеме исходного монохроматического сигнала может быть выбрана примерно равной  $10^{-3}$  Гц. При приеме шумового сигнала это ограничение не является существенным.

Отметим, что на передачу малоинформативных сообщений (скорость передачи сообщений информации меньше 0,1–1 Кбод) межзвездная среда на частотах  $f > 1$  ГГц в основном не влияет. Кроме того, на основе рис. 7 мы можем заключить, что на таких частотах межзвездная среда существенно не повлияет и на коэффициент направленного действия антенн, если  $G = 4\pi/\vartheta^2$  будет меньше  $10^{13} - 10^{16}$ .

При оценке влияния межпланетной среды будем исходить из условий, наблюдаемых в среде, нас окружающей. В этом случае на  $f > 1$  ГГц  $S_0^2 < 1$ , если исключить области, близкие к Солнцу ( $R \sim 2-5R_\odot$ ,  $R_\odot$  – радиус Солнца), где концентрация электронов  $N \sim 10^5$  см<sup>-3</sup>. Характерная частота при этом составляет 1–30 Гц ( $l \sim 10-100$  км,  $v \sim 300$  км·с<sup>-1</sup>). Поэтому можно ожидать, что для ВЦ, расположенных около звезд, активность которых близка к активности Солнца, влияние межпланетной среды на высоких частотах не будет значительным, если сигналы не будут распространяться через короны звезд.

Влияние тропосферы планеты (подобной земной) начинает сказываться на частотах, больших 30–100 ГГц [12]. Флуктуационные набеги фазы волн на частоте 30 ГГц, которые соответствуют  $\Delta f_D \sim 10^{-3}$  Гц (скорость ветра  $\sim 2$  м·с<sup>-1</sup>), могут превышать радиан при вертикальном просвечивании тропосферы, а для  $f \approx 10^2$  ГГц  $S_{0k} > 1$  в области масштабов, которые соответствуют  $\Delta f_D \approx 10^{-2}$  Гц. В последнем случае размер используемых "наземных" неадаптивных антенн не должен превышать 100–200 м.

В задачу настоящего сообщения не входит анализ возможных адаптивных систем. Заметим только, что такая адаптация в принципе возможна, если в трактах радиоаппаратуры или канале распространения не произошло каких-либо усреднений по пространству (размер антенн больше радиуса пространственной корреляции поля), частоте (ширина спектра сигнала больше  $\Delta f_{чк}$ ) или времени (время усреднения больше  $l_F/v$  или полоса  $\Delta f < \Delta f_D$ ).

Космические корреспонденты могут использовать окружающую их среду для усиления или генерации передаваемых сигналов. Об одном варианте такого использования среды (атмосферном мазере) уже упоминалось выше. Возможным (принципиально) представляется использовать для этих целей энергичные частицы магнитосфер планет, воздействуя на частицы мощными радиоволнами. Возможно также воздействием мощных радиоволн на ионосферу создать в ней плазменную линзу с размерами в 100–200 км, способную фокусировать радиоволны метрового и даже дециметрового диапазонов. В этом смысле не кажется очевидной стратегия передачи монохроматического сигнала в расчете на догадливость или достаточное упорство корреспондента.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Каплан С.А., Пикельнер С.Б. Межзвездная среда. М.: Наука, 1979.
2. Манчестер Р., Тейлор Дж. Пульсары. М.: Мир, 1980.
3. Sheuer P.A.G. — Nature, 1968, vol. 218, p. 920.
4. Ерухимов Л.М., Писарева В.В. — Изв. вузов. Радиофизика, 1969, т. 12, № 6.
5. Ерухимов Л.М., Писарева В.В. — Астрон. циркуляр, 1968, № 489.
6. Ерухимов Л.М. — Астрон. циркуляр, 1969, № 513; Ерухимов Л.М. — УФН, 1969, т. 99, № 3, с. 523.
7. Ерухимов Л.М. — Изв. вузов. Радиофизика, 1972, т. 15, № 6.
8. Ерухимов Л.М. — В кн.: Тез. докл. Всесоюз. конф. по радиоастрономии. Харьков, 1977.
9. Алтунин В.И. — Астрон. журн., 1980, № 6.
10. Backer D.C. — Astrophys. J., 1974, vol. 190, p. 667.
11. Sutton J.M. et al. — Astrophys. J., 1970, vol. 159, p. L89.
12. Татарский В.И. Распространение волн в турбулентной атмосфере. М.: Наука, 1967.

УДК 523.164+008:523.07

Н.Т. Петрович

### МЕЖЗВЕЗДНАЯ СВЯЗЬ С ПОМОЩЬЮ ОТНОСИТЕЛЬНЫХ МЕТОДОВ ПЕРЕДАЧИ СИГНАЛОВ

**Относительные методы передачи.** Широко распространенные классические методы передачи в системах связи, когда передаваемая информация определяется абсолютным значением того или иного параметра сигнала (амплитуды, частоты, фазы и т.д.), называют абсолютными. В последнее время находят применение так называемые относительные методы передачи сигналов. Их особенность — передача информации не абсолютным, а относительным значением параметра сигнала, по отношению к значению сигнала, передаваемого в соседнем интервале времени или на соседней несущей частоте.

В этом случае прием сигнала (т.е. выделение передаваемой информации) может быть осуществлен только путем сопоставления двух значений сигнала. Благодаря тому, что оба сравниваемых сигнала претерпевают практически одинаковые искажения в среде распространения, так как сдвиг их по времени или по частоте невелик, относительные методы передачи хорошо приспособлены для сред с переменными параметрами. В частности, только относительные методы позволили практически реализовать передачу фазоманипулированных сигналов в наземных и космических системах связи. Этот метод получил название относительной фазовой манипуляции (ОФМ).

При ОФМ информация содержится в разности фаз двух соседних посылок или в разностях фаз первого порядка  $\Delta^1$ , а каждая посылка на приеме используется дважды — как носитель информации (она сопоставляется с предыдущей посылкой) и как опорное напряжение для отсчета фазы последующей посылки [1, 2]. Относительные методы позволяют использовать для передачи разности и более высоких порядков.

Пусть сигнал — переносчик информации — имеет вид  $S(\vec{r}) = a \sin[\omega_0 t + \varphi(t)]$  и имеют место три интересных для нас случая:

1. Неопределенная начальная фаза

$$\varphi(t) = \varphi_1(t) = \delta\varphi. \quad (1)$$

2. Неопределенная начальная фаза и неопределенная частота

$$\varphi(t) = \varphi_2(t) = \delta\omega_1 t + \delta\varphi. \quad (2)$$

3. Неопределенная начальная фаза и линейно меняющаяся частота

$$\varphi(t) = \varphi_3(t) = (\delta\omega_1 + \delta\omega_2 t)t + \delta\varphi, \quad (3)$$

где  $\delta\varphi$ ,  $\delta\omega_1$  и  $\delta\omega_2$  — случайные величины, неизвестные в точке приема.

Первый случай — это искажения фазы в среде распространения, второй — искажения частоты за счет эффекта Доплера при равномерном движении передатчика или приемника, третий — искажения частоты за счет равномерно ускоренного движения передатчика или приемника.

Выбирая длительность элементарной посылки  $\tau_a$  достаточно малой, получаем

$$\frac{d\varphi_1}{dt} \equiv 0; \quad \frac{d^2\varphi_2}{dt^2} \equiv 0; \quad \frac{d^3\varphi_3}{dt^3} \equiv 0. \quad (4)$$

Таким образом, первые разности обеспечивают нечувствительность к случайным колебаниям фазы

$$\Delta^1\varphi = \text{invar}(\delta\varphi) = 0. \quad (5)$$

Вторые разности обеспечивают нечувствительность к сдвигам частоты

$$\Delta^2\varphi \text{ invar}(\delta\varphi, \delta\omega) \equiv 0. \quad (6)$$

Третьи разности обеспечивают нечувствительность к линейному изменению частоты

$$\Delta^3\varphi = \text{invar}(\delta\varphi, \delta\omega, \delta\omega_2) \equiv 0. \quad (7)$$

Для вычисления на приеме  $\Delta^1\varphi$ ,  $\Delta^2\varphi$ ,  $\Delta^3\varphi$  используются соответственно две, три и четыре соседние посылки.

**Монохроматический сигнал.** Многие специалисты, работающие над проблемой межзвездной связи, считают, что больше всего шансов обнаружить искусственный сигнал на частоте "природного стандарта частоты", т.е. на частоте излучения водорода  $f_H = 1420$  МГц. При этом полагают, что в простейшем случае это будет непрерывное излучение монохроматического сигнала на этой частоте. В связи с этим для поиска таких сигналов применяют приемное устройство с узкополосным фильтром (или их набором) и амплитудным детектором.

Этот метод приема обладает, как известно, самой низкой помехоустойчивостью. Предельно эффективным был бы прием с помощью фазового детектора и синхронного гетеродина, следящего за частотой и фазой принимаемого сигнала. Но это принципиально не реализуемо.

Однако использование относительного метода приема позволяет прак-

тически реализовать схему, близкую к оптимальной. В качестве опорного сигнала для фазового детектора можно использовать принимаемый сигнал, задержанный на некоторый интервал  $\tau_3$ . Величину  $\tau_3$  следует выбирать так, чтобы сохранить максимальную корреляцию сравниваемых сигналов и декоррелировать помехи на двух входах фазового детектора. Этому удовлетворяет условие

$$\tau_3 \approx 1/\Delta f, \quad (8)$$

где  $\Delta f$  — полоса пропускания приемника.

Если предположить, что межзвездная среда не вносит никаких искажений в сигнал, а сумма внешних и внутренних помех на входе приемника подчинена нормальному закону, то замена амплитудного детектора на относительный фазовый дала бы выигрыш только в два раза. При многолучевом сигнале этот выигрыш возрастает в несколько раз, если принять рэлеевскую модель сигнала на входе приемника.

Межзвездная среда вносит существенные искажения даже в монохроматический сигнал. Эти искажения связаны с неоднородностью среды распространения. Изучение импульсов пульсаров [3] и сигналов от космических аппаратов, движущихся в Солнечной системе [4], показывает, что неоднородность среды вызывает случайные флуктуации амплитуды, частоты и фазы сигналов.

При излучении на передаче монохроматического сигнала, его частота на приеме может иметь доплеровское смещение в сотни и тысячи герц, а энергетический спектр может уширяться до десятков герц. Посланный сигнал становится весьма похожим на флуктуационный шум. Обнаружить его сравнительно легко, если он заметно превышает уровень суммарных шумов на входе приемника. В противном случае задача обнаружения становится очень трудной.

Надежда на то, что ушедшие вперед цивилизации могут создать монохроматическое излучение практически любой мощности, лишены основания [5]. Кроме того, может оказаться, что посылающие сигналы цивилизации находятся приблизительно на нашем уровне технологического развития [6]. Не исключено, что наши неудачи в обнаружении сигналов других цивилизаций вызваны тем, что уровень сигналов ниже уровня шумов на входе наших приемников.

В связи с этим перед отправителями сигналов, вероятно, встает вопрос: нельзя ли сигналу на "природном стандарте" (или на любой другой частоте) придать форму, помогающую его обнаружению, даже если он значительно ниже уровня шумов? Этот же вопрос должны задать себе и мы, если хотим догадаться, что это за сигнал и как его обнаружить.

**Периодическая модуляция.** Ответ на поставленный вопрос, как нам кажется, может быть такой: необходимо несущее колебание, посылаемое через межзвездную среду, подвергнуть модуляции или манипуляции медленным периодическим процессом, период которого на несколько порядков больше периода несущего колебания.

Какие преимущества это даст? Вот они:

а) практическая независимость периода наложенного процесса от эффекта Доплера, т.е. от движения корреспондирующих космических объектов;

б) независимость периода наложенного периодического процесса от стабильности частоты передатчика и гетеродинов приемника;

в) возможность, благодаря медленности периодического процесса, накопления периодического сигнала после детектора простым предельно

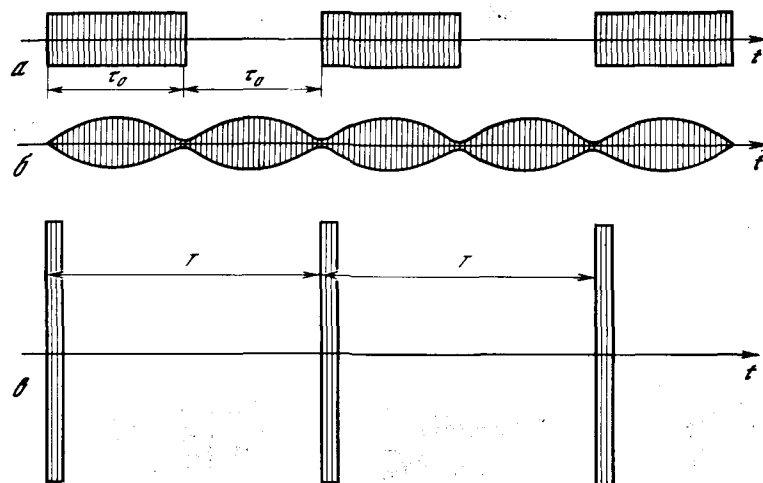


Рис. 1

узкополосным низкочастотным фильтром, практически без допусков на доплеровское смещение и нестабильность несущего колебания;

г) возможность лучшей защиты сигнала от искажений, вызванных многолучевым распространением (см. ниже);

д) возможность построения универсального сигнала, совмещающего в себе функции и привлекающего, и информационного сигналов (см. ниже);

е) несомненная искусственность сигнала.

Исходя из этой "периодической" концентрации, перейдем к построению наиболее эффективных сигналов для межзвездной связи.

Периодический признак в сигнале можно создать путем воздействия на один (или одновременно на несколько) его параметров: амплитуду, частоту, фазу, длительность...

**Периодическая амплитудная модуляция.** Манипуляция амплитуды сигнала — простейший путь наложения периодического процесса (рис. 1, а).

Однако эти сигналы наиболее подвержены искажениям от действия флуктуационных шумов и многолучевого распространения. Кроме того, из-за случайных колебаний уровня сигнала не удастся реализовать оптимальный порог ограничения в приемнике. Для исключения порога ограничения можно вместо манипуляции амплитуды применить модуляцию синусоидальным сигналом (рис. 1, б). Однако в этом случае (при равных пиковых мощностях) мощность полезного сигнала снижается в 4 раза.

Передача коротких импульсов большой амплитуды с высокой скважностью (при той же средней мощности) не дает выигрыша, так как одновременно растет уровень шумов из-за расширения полосы приемника (рис. 1, в). Кроме того, появляется новый фактор — дисперсионные искажения в среде (см. ниже).

**Периодическая частотная модуляция.** Переход от амплитудной периодической манипуляции к частотной (рис. 2, а) дает заметный выигрыш в отношении сигнал/шум. Это связано с увеличением средней мощности сигнала и автоматическим установлением оптимального порога в приемнике. Однако для уменьшения искажений из-за многолучевого распространения сигнала в межзвездной среде, предпочтительней периодический сигнал, реализуемый за счет плавно меняющейся несущей частоты.

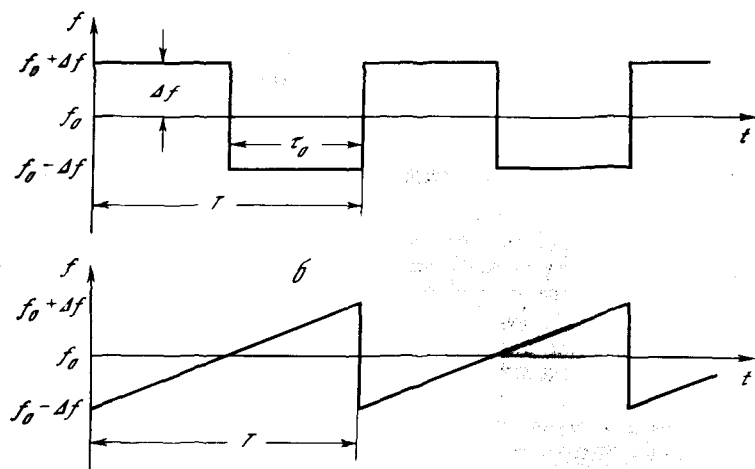


Рис. 2

Закон изменения частоты может быть, например, линейным (рис. 2, б). Тогда фаза сигнала  $\varphi(t)$  запишется как

$$\varphi(t) = 2\pi f_H t + \mu t^2 / 2, \quad (9)$$

где  $t_n \leq t \leq t_n + T$ ,  $t_n$  — время начала  $n$ -го периода модуляции;  $T$  — период модуляции;  $\mu$  — индекс частоты модуляции, а частота как

$$d\varphi(t)/dt = 2\pi f_H + \mu t. \quad (10)$$

В этом случае луч, запаздывающий на время  $\Delta t$ , будет иметь сдвиг  $\Delta f = \mu \Delta t$ . В простейшем случае двух лучей возникнут биения с частотой  $\mu \Delta t / 2$ .

Если

$$t_0 \geq 2/\mu \Delta t, \quad (11)$$

то средняя мощность посылки остается постоянной и замирания сигнала устраняются.

Если считать закон распределения  $\Delta t$  на интервале  $t_0$  равномерным, то нетрудно показать, что вероятность искажения сигнала из-за многолучевости при двух лучах обратно пропорциональна девиации частоты. Расширение полосы сигнала путем частотной модуляции в 10 раз приблизительно соответствует такому же выигрышу в мощности сигнала.

При передаче посылки на неизменной несущей частоте, в случае многолучевого распространения, в точку приема поступает несколько копий сигнала со случайными сдвигами во времени, а, следовательно, и со случайными фазами несущего колебания. При неблагоприятном их сочетании возникают глубокие, часто длительные замирания сигнала.

При введении плавной модуляции частоты на отрезке посылки несущие частоты лучей будут различны. Возникнут биения между несущими частотами отдельных лучей. Замирания сигнала будут только в том случае, когда более половины посылки находится у глубокого минимума огибающей биений, что происходит значительно реже, чем при неизменной частоте.

Отметим, что дельфины и летучие мыши для ослабления искажений сигнала из-за многолучевости уже миллионы лет используют колебания с переменной частотой [7].

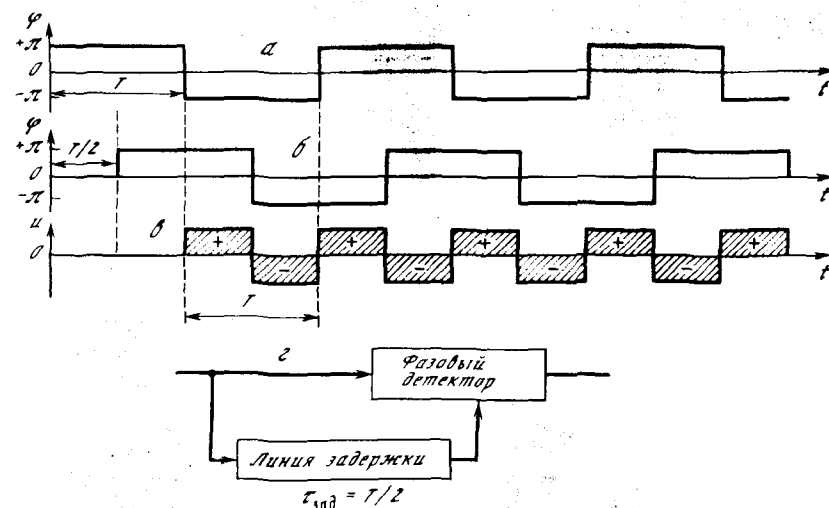


Рис. 3

Поиск в шумах периодической составляющей описанного сигнала можно производить, например, с помощью частотного детектора, на выход которого подключена система частотной автоподстройки (ЧАП). При выборе большой постоянной времени в цепи ЧАП можно выделить периодический сигнал, уровень которого во много раз ниже уровня шумов.

**Периодическая фазовая модуляция.** Фазовая манипуляция при сдвиге фаз на  $180^\circ$  реализует так называемые противоположные сигналы, обладающие наибольшей помехоустойчивостью. Для передачи сигналов через межзвездную среду может быть использована, как отмечалось выше, только относительная фазовая манипуляция (ОФМ). В этом случае для наложения на несущее колебание периодического процесса с периодом  $T = 2t_0$  необходимо на передаче изменять фазу на  $180^\circ$  с тем же периодом  $T$  (рис. 3, а). Детектирование таких сигналов может быть осуществлено путем перемножения и фильтрации принимаемого и задержанного на время  $t_0$  сигналов (рис. 3, б, в). Блок-схема детектора показана на рис. 3, г.

Сигналы ОФМ практически реализуют помехоустойчивость, весьма близкую к потенциальной, т.е. предельно возможной при условии, что среда распространения не вносит заметных искажений в величину разности фаз любых двух соседних посылок. В связи с этим межзвездная среда накладывает ограничения на выбор периода манипуляции  $T$ .

Нижняя граница определяется эффектом группового запаздывания при распространении волн в межзвездной среде и, согласно [8], приблизительно оценивается как

$$T_H > 5 \cdot 10^{-4} \text{ с.} \quad (12)$$

Верхняя граница связана с набегом фазы на отрезке двух сравниваемых посылок. Согласно теоретическим расчетам и экспериментальным данным, этот набег фазы меньше, чем набег фазы, наблюдаемый при использовании ОФМ в земных коротковолновых системах связи, где

$$T_B \approx 5 \cdot 10^{-3} \text{ с.}$$



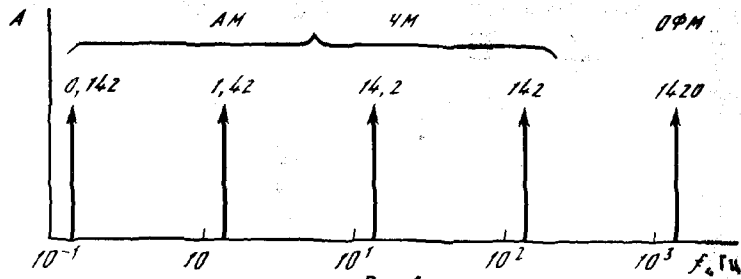


Рис. 4

Таким образом, имеем приблизительные границы для  $T$   
 $5 \cdot 10^4 < T < 5 \cdot 10^{-3}$  с, (13)

или для частоты периодического процесса  
 $200 < F < 2000$  Гц. (14)

Диапазон возможных частот довольно большой. Нельзя ли привязать эту частоту модуляции для облегчения догадки о ее значении на приеме к какой-либо известной всем цивилизациям величине? Ведь для приема необходимо хотя бы приблизительно знать время задержки сигнала  $T_3 = T/2$ .

Такая величина есть! Ее можно получить из известной всем цивилизациям, как принято считать, частоты излучения водорода  $f_H = 1420 \cdot 10^6$  Гц. Для этого воспользуемся выражением

$$F_k = \frac{f_H}{10^6 k} \approx \frac{1420}{k} \text{ Гц.} \quad (15)$$

Для  $k = 10^4, 10^3, 10^2, 10, 1$  получаем сетку частот, показанную на рис. 4. Для фазового межзвездного канала наиболее интересен случай:  $k = 1$ . Это дает частоту периодического процесса  $F = 1420$  Гц, которая хорошо укладывается в определенные выше допустимые границы (14).

Если принять гипотезу об использовании ВЦ природного стандарта для межзвездной связи, то вполне логична и гипотеза о двойном использовании природного стандарта — и для несущей частоты, и для создания периодического фазового процесса.

Если применять амплитудную или частотную манипуляцию, то ограничения, связанные с набегом фазы за период  $T$ , снимаются и можно ожидать одну из частот полученной сетки — 1420, 142 или 14,2 Гц.

Для уменьшения искажений сигнала при ОФМ из-за многолучевого распространения введем плавную частотную модуляцию несущей частоты, подобно тому, как это было сделано для частотной модуляции сигналов. Но в этом случае частоту надо менять не на отрезке периода  $T$ , а на отрезке  $T/2$ , сохраняя соотношение фаз сигнала ОФМ (рис. 5, а).

Так как частота несущего колебания в этом случае непрерывно меняется, то непрерывно меняется и фаза. Поэтому речь идет уже о соотношении мгновенных фаз посылок. Т.е. если соседние посылки ОФМ находились в фазе (противофазе), то и мгновенные фазы сигнала с переменной частотой должны быть в фазе (противофазе).

На рис. 5, б показан сигнал, полученный после задержки на  $T/2$  сигнала, изображенного на рис. 5, а, а на рис. 5, в — результат перемножения входного и задержанного сигналов (штриховыми линиями обозначены

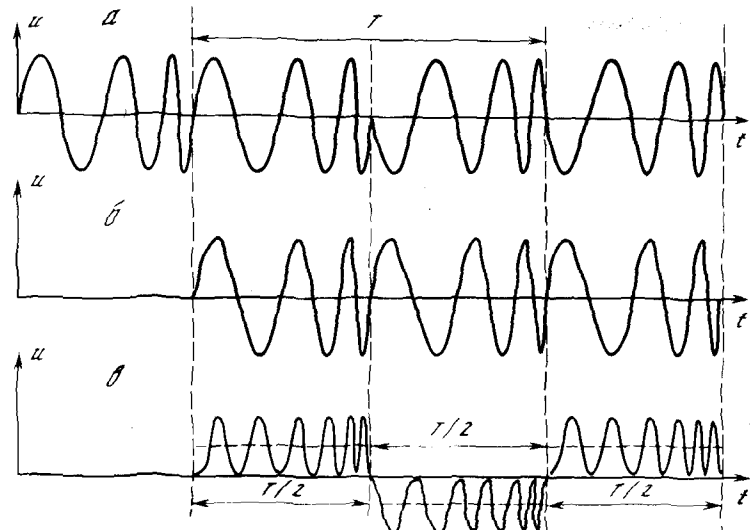


Рис. 5

посылки, получаемые после усреднения фильтром фазового детектора).

Из рис. 5 следует, что схема приема новых сигналов остается той же, периодическая частотная модуляция не препятствует осуществлению фазовой селекции, и снижения помехоустойчивости от действия флуктуационных шумов не происходит. Вместе с тем искажения сигнала из-за многолучевости уменьшаются. Полоса частот сигнала и степень уменьшения искажений из-за многолучевости будет определяться индексом частотной модуляции.

**Универсальный сигнал.** Полученный выше частотно-фазовый сигнал обладает еще одним важным для межзвездной связи свойством — он не теряет своей периодичности при передаче дискретной информации.

В самом деле, если, сохраняя частотную модуляцию посылок, манипулировать фазу  $n$ -й посылки по отношению к фазе  $(n-1)$ -й в соответствии с передаваемым двоичным сигналом по относительному методу, то можно осуществить передачу двоичной информации.

При этом благодаря сохранению закона модуляции частоты от посылки к посылке периодическое изменение сигнала остается. Поиск этого периодического процесса можно производить с помощью частотного детектора и схемы частотной автоподстройки.

Таким образом, совместное использование абсолютного и относительного методов передачи позволяет построить сигнал с ярко выраженной периодической составляющей, несущей одновременно двоичную информацию.

Это делает полученный сигнал универсальным. Если на приеме сигнал значительно меньше шума или уровень приемной техники не высок, то может быть выделена только периодическая составляющая сигнала путем длительного накопления. Если сигнал более сильный или техника приема более совершенная, то может быть осуществлен прием и получение информации. При этом наличие периодических изменений в сигнале облегчит его поиск и обнаружение.

**Аппаратура поиска.** Если считать, что для облегчения поиска ВЦ по-

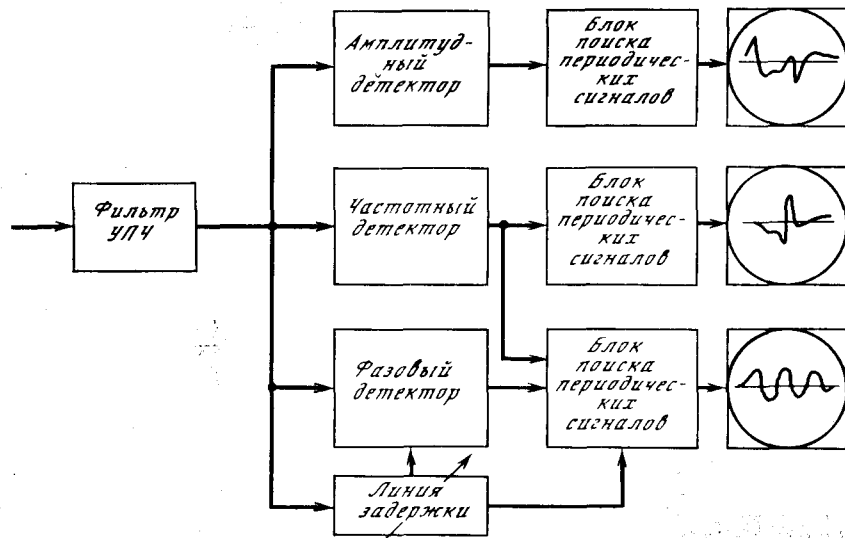


Рис. 6

сылают сигналы с периодической модуляцией, то приемная аппаратура должна быть построена с учетом этого. Так как предсказать точно способ модуляции невозможно, хотя более вероятно использование самых "дальнобойных" способов, то целесообразно на приеме одновременно использовать амплитудный, частотный и относительно-фазовый детекторы (рис. 6).

К выходам этих детекторов подключаются блоки поиска периодических процессов в шумах. Это могут быть системы частотной автоподстройки с большой постоянной времени, ЭВМ и др.

**Выводы.** 1. Монохроматический сигнал, посланный на частоте водорода (или на любой другой частоте), из-за искажений в межзвездной среде превращается на приеме в колебание со случайной амплитудой и фазой, аналогичной шуму. Поэтому он может быть обнаружен сравнительно легко только в том случае, если существенно превышает сумму шумов фона неба и приемного устройства.

Не исключено, что наши неудачи в обнаружении сигналов других цивилизаций вызваны этим фактом.

2. Так как создать сверхмощное излучение (в том числе монохроматическое), не погубив себя, чрезвычайно сложно даже сверхцивилизациям, то поиск монохроматического сигнала, прошедшего сотни и тысячи световых лет и все же существенно превышающего уровень шумов на приеме, вряд ли может принести успех. Понимая это, цивилизация, посылающая монохроматический сигнал на частоте водорода (или на какой-либо другой частоте), внесет, вероятно, в него признак, отличающий его от шумов и позволяющий более успешно накапливать его на приеме. Таким признаком может явиться модуляция несущей медленным периодическим процессом.

3. Одновременное использование абсолютного метода для периодической модуляции частоты и относительного метода для манипуляции фазы позволяет создать наиболее эффективный сигнал для преодоления пространства межзвездной среды.

Этот сигнал можно сделать универсальным, если, сохранив периодическое изменение частоты, с помощью фазовой манипуляции передавать двоичную информацию. В зависимости от соотношения сигнал/шум и совершенства приемной техники может быть выделен либо только периодический процесс, либо по периодическому процессу обнаружен сигнал и выделена передаваемая информация.

4. При передаче на частоте излучения водорода  $f_H$  и использовании только фазовой манипуляции или одновременно частотно-фазовой можно предполагать выбор периодического процесса с частотой 1420 Гц. Эта частота является кратной  $f_H$  и удовлетворяет условиям прохождения через межзвездную среду сигналов, фаза которых несет информацию.

Если используется частотная манипуляция или модуляция, то возможно использование более низких кратных частот: 142; 14,2; 1,42 Гц...

5. Поскольку точно предсказать вид периодической модуляции и манипуляции в ожидаемом сигнале невозможно, то в поисковом приемнике следует предусмотреть амплитудный, частотный и относительно-фазовый детекторы, на выходе которых подключены блоки поиска периодических процессов (системы частотной автоподстройки, ЭВМ и др.).

6. Для более успешного поиска сигналов от других цивилизаций с периодическим изменением его параметров необходимо углубить теорию их приема в условиях высокого уровня шума и многолучевого распространения, а также определить наиболее рациональное построение поисковой аппаратуры.

7. В сигналы, посылаемые с Земли другим цивилизациям, также целесообразно вводить периодическую модуляцию предложенного типа.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Петрович Н.Т., Камнев Е.Ф., Каблукова М.В. Космическая радиосвязь. М.: Сов. радио, 1979.
2. Окунев Ю.Б. Теория фазоразностной модуляции. М.: Связь, 1979.
3. Манчестер Р., Тейлор Дж. Пульсары. М.: Мир, 1980.
4. Яковлев О.И. Распространение радиоволн в Солнечной системе. М.: Сов. радио, 1974.
5. Маковецкий П.В., Петрович Н.Т., Троицкий В.С. — В кн.: Проблема поиска внеземных цивилизаций. М.: Наука, 1981.
6. Троицкий В.С. — Астрон. журн., 1981, т. 58, вып. 5.
7. Голубков А.Т. Гидролокатор дельфина. Л.: Судостроение, 1977.
8. Внеземные цивилизации/Под ред. С.А. Каплана. М.: Мир, 1969.

УДК 523.07

М.Суботович, З.Папротный

### НЕОБЫЧНЫЕ И НЕМИКРОВОЛНОВЫЕ МЕТОДЫ SETI И SETI

Обычно оптимальным диапазоном электромагнитных волн для связи с космическими цивилизациями при помощи наземных радиотелескопов считается микроволновый диапазон. Представляется интересным рассмотреть возможность использования других областей электромагнитного спектра для поиска и связи с ВЦ (SETI и SETI), особенно когда радиотелескопы вынесены в космическое пространство; и даже более того — возможность использования других носителей для передачи информации через космическое пространство. Эти альтернативные методы межзвездной

сигнализации и (или) связи, как доступные нашей земной технологии, так и только воображаемые, можно классифицировать следующим образом.

#### 1. Передача и (или) прием волн и частиц.

##### 1.1. Оптические методы.

##### 1.1.1. Лазерная связь в видимом, УФ и ИК диапазонах спектра.

##### 1.1.2. Прямая оптическая связь.

##### 1.2. Миллиметровый диапазон.

##### 1.3. Связь с помощью рентгеновских и гамма-лучей.

##### 1.4. Связь с использованием гравитационных волн.

##### 1.5. Нейтринная связь.

##### 1.6. Связь с применением частиц высоких энергий.

##### 1.7. Тахионная связь.

##### 1.8. Улавливание "нормальной" активности ВЦ по всему спектру.

#### 2. Методы артефакта.

##### 2.1. Радиорелейные зонды брейсуэлловского типа.

##### 2.2. Пассивные артефакты (углоковые отражатели, космические послания типа "Вояджер" и т.п.).

#### 3. Астрофизические методы.

##### 3.1. Звездные маркеры.

##### 3.2. Модуляция инфракрасного излучения, исходящего от ВЦ (цивилизации дайсоновского типа).

##### 3.3. Имитация "космических чудес".

#### 4. Биологические методы.

##### 4.1. Искусственное создание самовоспроизводящихся молекул, несущих информацию.

## 1. ПЕРЕДАЧА И (ИЛИ) ПРИЕМ ВОЛН И ЧАСТИЦ

### 1.1. Оптические методы

#### 1.1.1. Лазерная связь в видимом, УФ и ИК диапазонах спектра

Использовать лазерное излучение для задачи SETI впервые было предложено Шварцем и Таунсом [1]. Они рекомендовали применить лазерные системы, обеспечивающие достаточно высокую мощность в монохроматическом спектральном интервале по сравнению с излучением звезды в том же интервале.

Такие системы трудно реализовать в видимом участке электромагнитного спектра, это значительно легче сделать в ультрафиолетовом и инфракрасном диапазонах. Как указали Оливер и Биллингем [2], мощность, необходимая для лазерной связи, намного выше мощности, затрачиваемой на микроволновую связь. Более перспективны лазерные передатчики, установленные на околоземных спутниках [3].

Пессимистические выводы, сделанные Шварцем и Таунсом [1] и Оливером [4] относительно использования оптических лазеров для задач SETI, связаны главным образом с двумя допущениями: о модуляции несущей синусоидальной волны и о высокой точности собирающей поверхности телескопов.

Однако, как было недавно показано Россом [5], оба эти условия не являются обязательными для межзвездной связи. Он предложил искать импульсные сигналы с модуляцией временного промежутка между импульсами при помощи многозеркальных телескопов с эффективной площадью несколько квадратных метров и невысоким качеством поверхности — много хуже дифракционного предела (например, с погрешностями, в 20

раз превышающими длину волны). Следует подчеркнуть, что в настоящее время имеются, как электроника, так и зеркала, требующиеся для такой системы (см. статьи Росса).

#### 1.1.2. Прямая оптическая связь

По мнению Струве [6], обитатели ближайших внесолнечных планет могут наблюдать оптические импульсы, генерируемые при термоядерных взрывах, проводившихся в околоземном космическом пространстве до их запрещения. Соответствующие расчеты, сделанные Батлером [7], показали, что взрыв мощностью 10 Мт будет иметь на расстоянии 1 пс 28-ю видимую звездную величину. Однако благодаря маскирующему эффекту излучения центральной звезды такие сигналы едва ли могут быть обнаружены даже на близких расстояниях.

### 1.2. Миллиметровый диапазон

Один из авторов этой статьи высказал предположение [3], что оптимальный диапазон SETI для орбитальных космических телескопов (за атмосферой), лежащий в области минимума космического фона, очень широк и простирается от 1 до 3000 ГГц, т.е. от микроволновой до ИК-области спектра. Кардашев [8] определил в качестве оптимальной длины волны  $\lambda = 1,5$  мм. При этом он учитывал поглощение и рассеяние электромагнитных волн в межзвездной среде, а также яркостную температуру фона. Стоимость передатчика, согласно этой работе Кардашева, не зависит от длины волны, а определяется только величиной потребляемой энергии. Для волны 1,5 мм яркостная температура фона минимальна, так же как минимальны поглощение и рассеяние электромагнитного излучения<sup>1</sup>. Наиболее важная естественная линия в этом диапазоне — линия позитрония  $\lambda = 1,47$  мм, обусловленная переходом из триплетного состояния  $3S_1$  ортопозитрония в синглетное состояние  $1S_0$  парапозитрония.

### 1.3. Связь с помощью рентгеновских и гамма-лучей

Рентгеновский и гамма-диапазоны ( $\nu > 10^7$  ГГц) вряд ли могут быть использованы для межзвездной связи, не только потому что в этих диапазонах квантовые шумы очень сильны, но также из-за сильно возрастающей стоимости такого канала. Поскольку энергия кванта пропорциональна частоте, то стоимость излучения (в расчете на один квант) делает рентгеновскую и гамма-связь дорогой, особенно в сравнении с микроволновым каналом.

Предложения, касающиеся использования рентгеновских лучей для SETI, нашли отражение в литературе. Эллиот [9] рассмотрел возможность обнаружения рентгеновского излучения от термоядерных взрывов в космосе. Он пришел к выводу, что при одновременном взрыве всего накопленного на Земле термоядерного оружия область обнаружения рентгеновского импульса не превышает 200 св. лет. Очевидно, это неплохое решение для разоружения, но не для SETI.

Фабиан [10] представил "искусственную" интерпретацию известных всплесков мягкого рентгеновского излучения. Впервые обнаруженные

<sup>1</sup> В статье В.С. Троицкого (см. наст. сб.) показано, что для направленной связи с ВЦ энергетически более выгодны миллиметровые волны. Выигрыш мощности пропорционален квадрату отношения длин волн. (Примеч. сост.)

спутниками "Вела" эти всплески интерпретировались как эффекты, вызванные столкновением комет с нейтронными звездами. Согласно оценкам Фабиана, генерация рентгеновского импульса, сравнимого по мощности с рассмотренным Эллиотом, требует всего 10 т вещества. Таким образом, высокоразвитая цивилизация может намеренно генерировать мощные широкополосные и квазивсенаправленные позывные сигналы. Однако даже если такие сигналы действительно посылаются, нам неизвестны методы их выделения из бесспорно более многочисленных естественных рентгеновских вспышек.

#### 1.4. Связь с использованием гравитационных волн

В любой системе вращающихся масс возникают гравитационные волны (ГВ). В рамках общей теории относительности Эйнштейн получил выражение для энергии, излучаемой двойной звездой в форме ГВ. Недавно Халс и Тэйлор [11] открыли двойную звезду, состоящую из пульсара PSR 1913 + 16 и обычной звезды; пока это единственная известная двойная система с пульсаром. Пульсар — нейтронная звезда диаметром около 10 км — вращается со скоростью 17 об/с, эта частота (или период вращения) известна с очень большой точностью. Вследствие излучения ГВ двойной системой должна изменяться скорость вращения пульсара. Халс и Тэйлор наблюдали изменения периода вращения пульсара PSR 1913 + 16. Единственное объяснение этого явления — излучение ГВ бинарной системой. За свою выдающуюся роль в подтверждении общей теории относительности этот пульсар назван "Мечта Эйнштейна".

Существует другая серия экспериментов, где ведется поиск ГВ с помощью поглощающих детекторов [12]<sup>2</sup>. Мощными источниками ГВ должны быть гравитационный коллапс или взрывы сверхновых. В качестве детекторов при этом используются огромные охлаждаемые цилиндры, в которых после поглощения ГВ должны возбуждаться колебания [13]. До настоящего времени гравитационные волны не были обнаружены ни одной из нескольких групп, ведущих подобные эксперименты.

Обсуждение проблем гравитационных волн показывает, что их генерация и обнаружение пока являются настолько трудным делом, что любая попытка планировать SETI с применением ГВ считается преждевременной.

#### 1.5. Нейтринная связь

Первая работа по использованию нейтрино для SETI была опубликована одним из авторов этой статьи (Суботович [14, 15]). В принципе для этого можно использовать нейтрино из ускорителей или нейтрино, образующиеся при бета-распаде поляризованных радиоактивных ядер. Гораздо легче, однако, получить хорошо сфокусированный, направленный и интенсивный нейтринный поток из ускорителя протонов с энергией в сотни гигаэлектрон-вольт, чем от бета-распада, где энергия нейтрино невелика (от единиц килоэлектрон-вольт до нескольких мегаэлектрон-вольт). Поэтому мы будем обсуждать применение для SETI только нейтрино, полученные на ускорителях. Протоны с энергией в сотни гигаэлектрон-вольт, сталкиваясь с ядрами мишени, образуют  $\pi^{\pm}$ -,  $k^{\pm}$ -мезоны, распадающиеся на  $\mu^{\pm}$ -мезоны, электроны и нейтрино  $\nu$ ,  $\bar{\nu}$ . Недавно Саенц и др. [16] предложили, как и Суботович в работе [14], передавать информацию на Землю путем по-

сылки модулированного пучка нейтрино. Пасахов и Кутнер [17] повторили предложение Суботовича [14, 15] использовать нейтрино для межзвездной связи.

Нейтрино или антинейтрино, вероятно, не имеют массы и движутся со скоростью 300 000 км/с, их эффективное сечение при взаимодействии с материей весьма мало, от  $10^{-43}$  до  $10^{-38}$  см<sup>2</sup>, в зависимости от энергии нейтрино. Поэтому поток нейтрино может проходить путь от места генерации до места обнаружения без изменения интенсивности, направления и энергии. Нейтрино были бы идеальным средством передачи информации на межзвездные расстояния, если бы их обнаружение было намного проще. Информация может быть послана с помощью модуляции потока нейтрино по частоте или энергии. С развитием возможностей обнаружения нейтрино возникнет нейтринная астрономия. Нейтрино с энергией  $10^{13}$  —  $10^{16}$  эВ имеют галактическое или межгалактическое происхождение. Они могли возникнуть во время Большого взрыва 10–15 млрд лет назад и без всяких изменений несут информацию о процессах формирования галактик и звезд, о взаимодействии первичных космических лучей с межзвездными газами и фотонами  $\gamma_{\text{ред}}$  реликтового излучения при температуре 2,7 К:

$$\rho + \gamma_{\text{ред}} \rightarrow n + \pi^+, \quad \pi^+ \rightarrow \mu^+ + \nu_{\mu}, \quad \mu^+ \rightarrow e^+ + \nu_e + \bar{\nu}_{\mu}.$$

Плотность реликтовых фотонов  $3,9 \cdot 10^2$  см<sup>-3</sup>, их средняя энергия  $h\nu_{\text{ред}} = 6,3 \cdot 10^{-4}$  эВ. При взаимодействии нейтрино с энергией ( $10^{15}$  —  $10^{16}$ ) эВ с электронами может быть обнаружен промежуточный бозон  $W$ :

$$\nu_e + \bar{e} \rightarrow W^- \rightarrow \text{адрон}.$$

Программы DUMAND, ATHENE и UNICORN. Аббревиатура DUMAND означает "обнаружение  $\mu$ -мезонов и нейтрино глубоко под водой". Марков (1960), позднее Чудаков (1969) и американская группа "Батавия" [18] (см. также Березинский и Зацепин [19]) предложили использовать в качестве детектирующей среды морскую воду. Продукты взаимодействия нейтрино с веществом создают черенковское излучение, которое может быть зарегистрировано десятками тысяч фотоумножителей или плоскими полупроводниковыми фотодетекторами, способными зарегистрировать даже 10 квантов черенковского излучения. Оптическое обнаружение нейтрино основано на реакции, где адроны, двигающиеся в морской воде, генерируют потоки вторичных квантов и заряженных частиц, преимущественно электронов, излучающих черенковские фотоны. Анализ зарегистрированного излучения позволяет определить энергию и направление первичной частицы. Порог энергии регистрируемого нейтрино  $E_{\nu}$  равен примерно  $10^{11}$  эВ.

Около 30 тыс. фотоумножителей, помещенных на решетке, будут фиксировать черенковское излучение в объеме около 1 км<sup>3</sup>! Поскольку длина поглощения излучения в морской воде равна  $l_0 = 20 \div 30$  м, "постоянная решетки"  $d$  для фотоумножителя будет равна  $(1,3 - 1,7) l_0$ . В эксперименте DUMAND будут регистрироваться потоки с энергией  $10^{12}$  —  $10^{15}$  эВ.

Подобна этой другая программа, ATHENE, в ходе которой будут регистрироваться нейтрино с энергией 1–100 ТэВ ( $10^{12}$  —  $10^{14}$ ) эВ. ATHENE означает "эксперимент по обнаружению атмосферных высокоэнергичных нейтрино". Предполагаемое количество регистрируемых потоков в объеме 1 км<sup>3</sup> ~ 1000 в год для  $E_{\nu} \geq 1$  ТэВ и около 400 в год для  $E_{\nu} \geq 10$  ТэВ. В этих экспериментах определяется эффективное сечение взаимодействия нейтрино—ядро, безмюонные взаимодействия, передача энергии, а также промежуточный бозон  $W$ , если  $m_W c^2 > 150$ –200 ГэВ.

<sup>2</sup> В Советском Союзе аналогичные исследования ведутся в МГУ В.Б. Брагинским. (Примеч. сост.).

В третьей программе — UNICORN ("подводное обнаружение межзвездных космических потоков нейтрино") — будут исследоваться внегалактические нейтрино с энергиями  $E_\nu > 10^{14} - 10^{16}$  эВ для изучения очень ранней космологической эпохи (Большого взрыва) или промежуточных бозонов  $W$  и эффективного сечения реакции  $\nu - N$  при энергии  $E_\nu > 10^{14} - 10^{16}$  эВ.

Во всех описанных программах объем детектирующей жидкости (морская вода) составляет примерно  $1 \text{ км}^3$ . Эти программы обнаружения космических нейтрино могут быть приняты без исправлений для SETI, если энергия передаваемых нейтрино достаточно велика.

**Акустический метод регистрации нейтрино.** Аскарян, Долгошей и Боуэн [20] предложили использовать акустический метод для регистрации нейтрино с энергией  $E_\nu > 10^{16}$  эВ. Длина поглощения  $R$  звука в морской воде равна примерно  $1 \text{ км}$ . Поэтому объем системы обнаружения, содержащей около 100 000 гидрофонов, будет равен примерно  $100 \text{ км}^3$ .

Этот метод, так же как и рассмотренные выше программы, может быть пригоден для SETI.

### 1.6. Связь с применением частиц высоких энергий

Межзвездная связь с применением частиц высоких энергий была предложена Джонсом [21] как альтернатива электромагнитным методам и методам артефакта SETI.

Однако даже на коротких расстояниях в несколько световых лет потоки частиц высоких энергий будут сильно искажены действием межзвездных магнитных полей, так что невозможно будет определить адрес отправителя. С другой стороны, свободные электроны имеют слишком короткую продолжительность жизни, чтобы их использовать для SETI.

### 1.7. Тахионная связь

Недавно было высказано предположение о существовании частиц, движущихся со скоростью, превышающей скорость света. Эти частицы получили названия тахионов. Поднимается вопрос об их использовании для SETI. Так как существование тахионов сомнительно и противоречит принципам физики (принципу причинности), мы не будем считать их предметом широкого обсуждения.

### 1.8. Улавливание "нормальной" активности ВЦ по всему спектру

Любая научно-техническая цивилизация излучает с поверхности планеты в космическое пространство электромагнитные волны в широком спектральном интервале, в области прозрачности планетной атмосферы. Для земной атмосферы такими областями спектра являются видимый свет, метровые волны (телевидение) и радиоволны. Эта непреднамеренная "передача" может улавливаться с расстояния несколько десятков световых лет с помощью систем обнаружения типа "Циклоп" [2].

## 2. МЕТОДЫ АРТЕФАКТА

### 2.1. Радиорелейные зонды брейсуэлловского типа

Брейсуэлл [22] указал на возможность посылки зонда от одной научно-технической цивилизации к другой планете, где он будет находиться на орбите до тех пор, пока жизнь на этой планете не достигнет определенного

научно-технического уровня (это может произойти через очень большой промежуток времени). Затем зонд будет передавать информацию от других цивилизаций к только что развившейся. Наши электронные приборы, в первую очередь источники питания, имеют короткое время жизни по сравнению с временем, необходимым для достижения цивилизацией достаточно высокого научно-технического уровня. Поэтому брейсуэлловские радиорелейные зонды представляются нам нереалистичными.

### 2.2. Пассивные артефакты

Значение этого метода обнаружения ВЦ практически равно нулю именно из-за пассивности артефактов. Можно представить себе полуактивные артефакты, подобные угловым отражателям [23], но они крайне неэффективны для контакта.

В 60–70-х годах высказывались некоторые предположения относительно возможных артефактов на Земле, Луне или вообще в Солнечной системе, оставленных гипотетическими космическими цивилизациями (см., например [24, 25]), или остатков вымерших цивилизаций [26].

Земные артефакты, покидающие Солнечную систему ("Пионер", "Вояджер") и послания, находящиеся на их борту, нельзя рассматривать как серьезные попытки установить контакт с другими мирами. Они, скорее, являются формой демонстрации возможностей современной космической техники, позволившей уже через четверть века после начала космической эры послать аппараты к звездам.

## 3. АСТРОФИЗИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ

### 3.1. Звездные маркеры

Метод, с помощью которого можно показать, что разумная жизнь существует на планете около данной звезды, был предложен независимо друг от друга Дрейком [27] и Шкловским [28]. Согласно их предположениям, изотоп с коротким временем жизни можно ввести в атмосферу звезды, около которой существует цивилизация, или поместить на орбиту вокруг этой звезды. Возможные наблюдатели не смогут объяснить естественными причинами возникающие линии поглощения в спектре звезды. Простые расчеты показывают, что количество вещества, необходимое для распределения в атмосфере звезды, не будет чрезмерно большим, по крайней мере, для цивилизаций более развитых в техническом отношении, чем земная. Тем не менее присутствие спектральных линий технеция-43 (период полураспада около  $2 \cdot 10^5$  лет) в спектрах некоторых пекулярных звезд типа S было объяснено естественными причинами.

**Запуск зондов в "черные дыры".** Один из авторов (М. Суботович) предполагает, что существует возможность запуска космических кораблей в "черные дыры". Падая на поверхность "черной дыры", они будут излучать электромагнитные волны в ультрафиолетовом и рентгеновском диапазоне. Эти вспышки могут происходить в строго определенном временном порядке и служить маяком. С их помощью можно выразить несколько цифр чисел  $\pi$ ,  $e$ ,  $\pi/e$  и др. в десятичной и двоичной системах. Такого рода импульсы вспышек для падающего тела массой в несколько тонн могут быть обнаружены в радиусе нескольких сотен световых лет.

### 3.2. Модуляция инфракрасного излучения, исходящего от ВЦ

Независимо от наших точек зрения относительно возможности технической реализации астроинженерных проектов, таких, как сфера Дайсона "эфирные города" Циолковского или кольца Покровского [29], эти и другие проекты предлагают предпринять некоторые усилия в области поиска ВЦ в инфракрасном диапазоне, поскольку, согласно второму закону термодинамики, все цивилизации должны переизлучать использованную энергию в инфракрасном диапазоне. Хотя сферы Дайсона могут быть обнаружены на расстоянии в несколько сот парсек [30]<sup>3</sup>, проблема их отличия от естественных компактных инфракрасных источников остается нерешенной. Интересное предложение было сделано Ребане [31]. Его гипотеза состоит в том, что если цивилизация достигла уровня развития II типа по Кардашеву, то она может модулировать свое инфракрасное излучение. Ребане заметил, что величина потока деградированной энергии, так же как и степень ее деградации, может служить мерой уровня развития цивилизации. Если эти доводы верны, тогда обнаружение наиболее развитых технологических цивилизаций в ИК-диапазоне будет также наиболее трудной проблемой.

### 3.3. Имитация "космических чудес"

В начале 60-х годов И.С. Шкловский ввел термин "космическое чудо" для обозначения явлений, которые могут наблюдаться астрофизическими методами, но не могут быть объяснены как результат чисто естественных процессов. В качестве примера могут служить звездные маркеры, описанные в этой статье.

Недавно Цуриков [32] отметил, что более экономично было бы имитировать "чудеса", а не создавать их. Согласно его предложению, такая имитация может осуществляться, когда сигнализирующая цивилизация генерирует два или более сигнала, каждый из которых в отдельности может быть объяснен естественными причинами, но их одновременное существование не объяснимо иначе как в результате разумного действия. Например, одновременный синий и красный сдвиг линии излучения водорода, исходящий от единичного компактного радиоисточника, может быть признаком искусственного происхождения этого излучения. Что касается позывных сигналов, то имитация нарушений законов природы является вполне перспективным методом SETI для любой умеренно развитой цивилизации.

## 4. БИОЛОГИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ

### 4.1. Искусственное создание самовоспроизводящихся молекул, несущих информацию

По мнению Маркса [33], разработчики программ SETI переоценивают современный уровень развития электроники, радио и телевидения. Они не видят других решений проблем SETI, кроме посылки только электромагнитных сигналов. Возможно, что высокоразвитые цивилизации используют другие средства связи, выгодно отличающиеся от электромагнитных волн. Еще в 1973 г. Крик и Оргел [34] выдвинули широко обсуждаемую идею направленной панспермии, согласно которой возникновение жизни

<sup>3</sup> В докладе В.С. Троицкого показано, что "сфера Дайсона" не создает достаточно выделяющегося сигнала. (Примеч. сост.)

на Земле не что иное, как результат намеренной акции, предпринятой высокоразвитым галактическим обществом, которое оставило здесь первые ростки жизни. Такой сценарий требует, чтобы посланцы цивилизации смогли создать и запустить космические корабли с огромным временем жизни. Приняв это за отправную точку, Маркс сделал следующий шаг и предположил, что посланцы не только снабдили Землю первыми микроорганизмами, но и оставили послание от ВЦ, может быть в форме измененных цепочек ДНК. Информационная емкость простейших земных цепочек ДНК, согласно Марксу, эквивалентна  $10^7$  бит, что достаточно как для внутренней биохимии организма, так и для собственно послания. Более того, этот вид связи имеет очень специфические преимущества: самовоспроизведение, самоисправление "ошибок" и высокий уровень сложности, позволяющий расшифровать сообщение только достаточно развитым цивилизациям. Независимо от Маркса Йоко и Ошима [35] опубликовали более подробный обзор проблемы биологической передачи информации. Предположив для удобства расшифровки, что послание содержится в простейших известных вирусах, они исследовали генетическую структуру фага Phi X-174, пытаясь найти смысл рисунка двухразмерной массы, образованной осадками аминокислот протеина фага. Хотя предварительные эксперименты не имели успеха, идея биологических посланий заслуживает дальнейшего изучения.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Schwartz R.N., Townes C.H. — Nature, 1961, vol. 190, p. 205—208.
2. Oliver B.M., Billingham J. Revised edition project CYCLOPS: a design study of a system for detecting extraterrestrial intelligent life. NASA CR 114445., 1973.
3. Subotowicz M. — JBIS Interstellar Studies Issue, 1978, vol. 31, № 3, p. 109—110.
4. Oliver B.M. — IRE Proc., 1962, vol. 50, p. 135.
5. Ross M. — JBIS, 1979, vol. 32, p. 203.
6. Struve O. — Phys. Today, 1960, vol. 13, № 9, p. 18.
7. Butler C.P. — Science, 1962, vol. 138, p. 483.
8. Kardashev N.S. — Nature, 1979, vol. 278, p. 28—30.
9. Elliot J.L. — In: CETI, MIT Press, Cambridge, 1973, p. 398.
10. Fabian A.C. — JBIS, 1977, vol. 30, p. 112.
11. Hulse R.A., Taylor J.H. — Astrophys. J. Lett., 1975, vol. 195, p. 51.
12. Weber J. — General relativity of gravitational waves. N.Y., 1961.
13. Subotowicz M. — In: Roczniki Filozof. KUL (Annual Philosoph.). Lublin, 1980, vol. 28, № 3, p. 45—65.
14. Subotowicz M. — Post Techn. Jadr, 1967, vol. 11, p. 475—479. На пол. яз.
15. Subotowicz M. — Acta astronaut., 1979, vol. 6, p. 213—220.
16. Saenz A.W., Uberall H., Kelly F.J. et al. — Science, 1977, vol. 198, № 4314, p. 295—297.
17. Pasachoff J.M., Kutner M.L. — Cosmic Search, 1979, vol. 1, № 3, p. 2—8.
18. Proc. of the 1975 Summer Workshop in DUMAND/Ed. P. Kotzer. West. Wash. State Coll., 1976.
19. Березинский В.С., Зацепин Г.Т. — УФН, 1977, vol. 122, p. 1—36.
20. Proc. of the Workshop DUMAND—76/Ed. A. Roberts. Batavia: FNAL, 1977.
21. Jones D.M. — Spaceflight, 1977, vol. 19, p. 113.
22. Bracewell R.N. — Nature, 1960, vol. 186, p. 670.
23. Anderson C.W. — Mercury, 1974, vol. 3, № 5, p. 2.
24. Sagan C. — Planet. and Space Sci., 1963, vol. 11, p. 485.
25. Foster G.V. — Spaceflight, 1972, vol. 14, p. 447.
26. Freeman J., Lampton M. — Icarus, 1975, vol. 25, p. 368.
27. Drake F.D. — In: Current Aspects of Exobiology. Oxford: Pergamon press, 1965, p. 323.
28. Shklovski I.S. — In: Intelligent Life in the Universe, N.Y.: Dell, 1966, p. 406.
29. Покровский Г.И. — Природа, 1973, № 6, с. 98.
30. Sagan C., Walker R.G. — Astrophys. J., 1966, vol. 144, p. 1216.
31. Ребане К.К. — Публ. Тарт. астрофиз. обсерватории, 1973, № 40, с. 107.
32. Цуриков В.М. — Изв. вузов. Радиофизика, 1979, т. 22, с. 764.
33. Marx G. — Acta astronaut., 1979, vol. 6, p. 221.
34. Crick F.H.C., Orgel L.E. — Icarus, 1973, vol. 19, p. 341.
35. Yokoo H., Oshima T. — Icarus, 1979, vol. 38, p. 148.

Дж. Тартер

## ОБЗОР ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПО ПОИСКУ СИГНАЛОВ ВЦ (в радио- и оптическом диапазонах)

В приведенных ниже таблицах я попыталась представить сводку данных обо всех экспериментальных программах SETI, выполненных за последние два десятилетия. Задача создания этого архива не завершена, поэтому я буду рада получить любую информацию относительно упущений или ошибок, имеющихся в таблицах. Таблицы были составлены на основании сообщений о поисках ВЦ, опубликованных в печати и (или) присланных мне; при этом я пыталась, там где это возможно, дать доступные ссылки на наблюдения. Я заранее приношу извинения за любые нечаянные неточности в таблицах. Насколько мне известно, эти таблицы достаточно полные по данным на январь 1982 г.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> При подготовке настоящего издания использованы более полные данные на июнь 1984 г. (см. *Tarter J.C. SETI observations Worldwide.* — In: *The Search for Extraterrestrial Life: Recent Developments* / Ed. Papagiannis M.D. IAU, 1985, p. 271–290), сделаны необходимые уточнения, в списке литературы добавлены некоторые работы, работы советских авторов приведены по русским изданиям. Таблицы подготовлены к изданию Л.М. Гиндилисом. (Примеч. сост.)

### Характеристика наблюдательных программ поиска ВЦ (июнь 1984)

Год наблюдений	Наблюдатель	Место наблюдения	Размер телескопа, м	Частотный диапазон поиска, МГц	Частотное разрешение, Гц
1	2	3	4	5	6
1960	Дрейк (проект "ОЗМА")	НРАО, США	26	1420,0–1420,4	10 <sup>2</sup>
[1964–1965]	Кардашев, Шоломицкий	[ЦДКС, СССР]	[Восемь 16-метровых зеркал]	[923]	10 <sup>7</sup>
1966	Келлерманн	КСИРО, Австралия	64	Много частотных полос в диапазоне между 350 и 5000 МГц	Полная полоса для каждого облучателя
1968–1969	Троицкий, Герштейн, Стародубцев, Рахлин	Радиоастрономическая станция НИРФИ, Зименки Горьковской обл., СССР	[15]	[926–928]	13

### Список сокращений и условных обозначений, использованных в таблице

НРАО	— Национальная радиоастрономическая обсерватория, Гринбэнк, США
ЦДКС	— Центр дальней космической связи, Крым, Евпатория
КСИРО	— Федеральная научно-промышленная исследовательская организация, радиоастрономическая обсерватория, Паркс, Австралия
НИРФИ	— Научно-исследовательский радиофизический институт, Горький
Нанси	— Радиоастрономическая обсерватория в Нанси, Франция
ИКИ	— Институт космических исследований АН СССР, Москва
ОСУРО	— Радиоастрономическая обсерватория Огайского университета, Колумбус, США
АРО	— Алгонкинская радиообсерватория, Онтарио, Канада
САО	— Специальная астрофизическая обсерватория АН СССР, с. Зеленчукская Ставропольского края
НАИК	— Национальный астрономический и ионосферный центр, обсерватория Аресибо, США
ВСРТ	— Вестерборкский радиотелескоп апертурного синтеза, Вестерборк, Нидерланды
ХКРО	— радиоастрономическая обсерватория Хэт Крик, Кастел, США
МПФИР	— Институт радиоастрономии Общества Макса Планка, Эффельсберг, ФРГ
ДСС-14	— антенна сети дальней космической связи НАСА, Голдстоун, США
ДСС-43	— антенна сети дальней космической связи НАСА, Тидбинбилла, Австралия
ХРО	— Радиообсерватория Хайстэк, Вестфорд, США
КПНО	— Национальная обсерватория Китт Пик, Туксон, США
(*)	— сведения о частотном диапазоне изменены с учетом движения наблюдаемых звезд по отношению к местному покоящемуся стандарту
(**)	— приведенные чувствительности определены при отношении сигнал/шум, равном 1
{ }	— сведения уточнены при редактировании

Объекты наблюдения	Предельный поток, Вт/м <sup>2</sup>	Общее количество часов наблюдения	Примечания	Ссылки
7	8	9	10	11
2 звезды: [ $\tau$ Кита, $\epsilon$ Эридана]	$4 \cdot 10^{-22}$ (**)	400	Одноканальный приемник	1
{ 2 квазара: СТА–21, СТА–102 }	{ $0,2 \div 0,5$ ед. потока по уровню 5 $\sigma$ }	{ 80 }	{ Первое исследование переменности внегалактических радиоисточников. Проверка гипотезы об искусственной природе СТА–21 и СТА–102. Обнаружение переменности СТА–102 }	{ 2 }
галактика 1934–63	0,5 ед. потока	—	Никаких следов ВЦ в исследованной галактике не обнаружено	3
{ 11 звезд солнечного типа и галактика М–31 }	$2 \cdot 10^{-21}$ (**)	11	Параллельно-последовательный анализ спектра: полоса 2 МГц последовательно просматривается 20 фильтрами	4

Продолжение табл.

1	2	3	4	5	6
[1970–1984]	Троицкий, Бондарь, Стародубцев, и др.	[Сеть наблюдательных пунктов НИРФИ: Горьковская обл. (Пустынь, Зименки, Пурех, Васильсурск); Крым (Кара-Даг); Мурманская обл. (Тульма); Приморский край (Уссурийск)]	Прием на дипольные антенны	[Диапазон волн: 50, 30, 16, 8, 3 см]	—
1970–1972	Слыш	Нанси, Франция	40 x 240	1667	$2 \cdot 10^6$
[1970–1972]	[Слыш, Пашенко, Рудницкий и др.]	[Нанси, Франция]	[40 x 240]	[1665, 1667]	$[4 \cdot 10^4, 2 \cdot 10^4]$
1971	Вершкер (проект "ОЗПА")	НРАО, США	91	1419,8–1421	490
1972			43	1410–1430	6900
[1972–1974]	[Кардашев, Гиндилис, Попов, Согласнов, Стейнбек и др.]	[Сеть наблюдательных пунктов ИКИ АН СССР: Кавказ – Памир, Кавказ – Камчатка]	[Прием на всенаправленные антенны]	[350–550, 350–550, $60 \pm 0,4$ , $38 \pm 0,4$ ]	$[5 \cdot 10^6, 5 \cdot 10^6, 8 \cdot 10^5, 8 \cdot 10^5]$

7	8	9	10	11
Поиск спорадических импульсов со всего неба	$10^6$ ед. потока	[в среднем 1200 ч в год]	шириной по 100 кГц; полоса 100 кГц перекрывается 25 узкоканальными фильтрами ( $\Delta f = 13$ Гц), разнесенными по частоте на 4 кГц; частота узкополосных фильтров меняется, так что осуществляется непрерывный просмотр полосы 100 кГц. Полное время анализа всей полосы 2 МГц составляет 10 мин	[5]
10 самых близких звезд	—	—	[Наблюдения звезд проводились в промежутках между выполнением основной программы по исследованию источников ОН]	—
[Мазерные источники ОН (5 источников)]	—	[2]	[Исследование статистической структуры сигнала мазерных источников ОН]	[6]
[2 звезды]	$5 \cdot 10^{-24}$	[4]	[324-канальный корреляционный спектрометр, работающий в реальном времени. При наблюдениях с 91-метровым телескопом использовались 192 канала (одновременно наблюдалась звезда сравнения); при наблюдениях с 43-метровым телескопом использовались все 324 канала на каждую исследуемую звезду]	7
[9 звезд]	$2 \cdot 10^{-23}$	[9]		
[Поиск импульсных сигналов со всего неба]		[Продолжительность одновременных наблюдений: 40, 10, 60, 40]	[В метровом диапазоне использовали одноканальные приемники; в дециметровом диапазоне – приемник с 4 каналами ( $\Delta f = 5$ МГц) на частотах 371,5; 408; 458,5; 535 МГц для измерения дисперсии импульсов при распространении в межзвездной среде. Эксперимент]	[8]
		$[7 \cdot 10^{-15}, 7 \cdot 10^{-15}, 2 \cdot 10^{-16}, 2 \cdot 10^{-16}]$		



Продолжение табл.

1	2	3	4	5	6
		Кавказ — Камчатка — АМС "Марс-7"]		60±0,3; 38±0,3; 30±0,3]	6 · 10 <sup>5</sup>
[ 1972—1976]	Палмер, Цукерман (проект "ОЗМА-2")	НРАО, США	91	1431—1425 1420,1—1420,7	6,4 · 10 <sup>4</sup> 4 · 10 <sup>3</sup>
С 1973 по настоящее время	Диксон, Эхман, Рауб, Краус	ОСУРО, США	[110 x 20] [диаметр эквивалентного параболоида — 53]	1420,4 (отнесенная к Галактическому центру) ± 0,250	10 <sup>7</sup>
1974—1976	Брайдл, Фелдман (проект "Кто отзовется?")	АРО, Канада	46	22 235,08 ± 5	3 · 10 <sup>4</sup>
1974	Вишня	ИСЗ "Коперник"	1	3 · 10 <sup>9</sup> (λ = 1000 А)	—
[1973—1974] [С 1978 по настоящее время]	Шварцман и др. [апаратурный комплекс "МАНИЯ"]	[ САО АН СССР]	[0,6] 6	[Оптический диапазон]	—
1975—1976	Дрейк, Саган	НАИК, США	305	1420, 1667, 2380 (В = 3 МГц)	10 <sup>3</sup>
1975—1979	Израэл, де Ройтер	ВСРТ, Нидерланды	[Система из 12 25-метровых зеркал] максимальная база 1500 м	1415	4 · 10 <sup>6</sup>
С 1976 по настоящее время	Бауйер и др., Калифорнийский университет Беркли, устройство "ЗЕРЕНДИП"	ХКРО, США	26	1410—1430; 1653—1673	2500
1976	Кларк, Блэк, Куззи, Тартер	НРАО, США	43	8522—8523 (*)	5

7	8	9	10	11
	2 · 10 <sup>-16</sup>	1,6]	на АМС "Марс-7" проводился совместно с французскими учеными]	
674 звезды	10 <sup>-23</sup> (**)	500	384-канальный коррелятор в реальном времени	9
Обзор всего неба	1,5 · 10 <sup>-21</sup> (**)	Непрерывные наблюдения	50-канальный приемник, настроенный на частоту радиолонии водорода, покоящегося относительно Галактического центра (коррекция частоты за Галактическое вращение есть функция направления)	10
70 звезд	10 <sup>-22</sup> (**)	140	К настоящему времени проведены наблюдения 70 звезд солнечного типа в пределах 45 св. лет	8
3 звезды	—	—	Поиск УФ лазерных линий	11
[ 21 пекулярный объект] пекулярные объекты	—	—	[Поиск в оптическом диапазоне коротких импульсов длительностью от 10 <sup>-7</sup> до 100 с, а также узких лазерных линий Δλ < 10 <sup>-6</sup> А]	[12]
4 галактики	3 · 10 <sup>-25</sup> (**)	100	Поиск цивилизаций II типа в местной группе галактик	13
50 звездных полей	2 · 10 <sup>-23</sup> (**)	400	Исследование "очищенных" карт, подготовленных по данным Вестерборкского обзора, с целью поиска позиционного совпадения между остаточными сигналами [точечными источниками эмиссии] и звездами каталога AGK 2	14
Поиск в различных областях по всему небу	5 · 10 <sup>-22</sup> (**)	—	Автоматический поиск сигналов ВЦ, сопутствующий радиоастрономическим наблюдениям	14
4 звезды	2 · 10 <sup>-24</sup> (**)	7	Высокоскоростной магнитофон РСДБ в комбинации с приставкой прямого преобразования Фурье для достижения максимального частотного разрешения (не в реальном времени)	175

1	2	3	4	5	6
1977	Блэк, Кларк, Куззи, Тартер	НРАО, США	91	1665-1667 (*)	5
	эйк, алл	НАИК, США	305	1664-1668 (*)	0,5
	селбински, МПИФР, ФРГ йрадакис		100	1420	$2 \cdot 10^7$
	ровиц	НАИК, США	305	$1420 \pm 0,0005$	0,015
	эн, ткен, кей	НАИК, США	305	1665; 1667;	9500
		ХРО, США	36	22 235,08	$65 000^{13}$
		КСИРО, Австралия	64	1612, 231	4500
	лс, илван	НАИК, США	305	130-500 (пятно)	1
	ул, керс	КСИРО, Австралия	64	$5000 \pm 5$ $5000 \pm 1$	$10^7$ $10^6$
	ейтас, лдес	Обсерватория Лейшнера, Калифорнийский университет, Беркли, США	0,78	5500 А (оптический диапазон)	—
С 1979 по настоящее время	Лаборатория реактивного движения, Калифорнийский универси-	ДСС-14, США	64	Диапазоны S и X [1550-5200; 5200-10900] B = 10 МГц	19 500

176

7	8	9	10	11
200 звезд	$10^{-24}$ (**)	100	Высокоскоростной магнитофон РСДБ в комбинации с приставкой прямого преобразования Фурье для достижения максимального частотного разрешения (не в реальном времени)	15
6 звезд	$10^{-26}$ (**)	10	То же	16
3 звезды	$4 \cdot 10^{-23}$	2	[Сопутствующие наблюдения] координаты звезд введены в действующую программу обнаружения пульсаров, предусматривающую поиск импульсных сигналов с периодами от 0,3 до 1,5 с	
185 звезд	$8 \cdot 10^{-28}$ (***)	80	Предполагается, что частота сигнала корректируется <i>отправителем на частоту лабораторного стандарта</i> , покоящегося в гелиоцентрической или барицентрической системе координат	17
25 шаровых скоплений	$1,8 \cdot 10^{-25}$	40	Пассивный поиск цивилизаций II и III типов, используя данные астрономических наблюдений по обнаружению $H_2O$ и OH-мазеров в шаровых скоплениях	18
	$1,1 \cdot 10^{-22}$	20		
	$1,5 \cdot 10^{-24}$ (**)	20		
2 звезды	$2 \cdot 10^{-24}$ (**)	5	Попытка "подслушивания" сигналов, используя регистрирующую технику РСДБ, как в работе Блэка и др., 1977 г.	19
Ближайшие звезды спектральных классов F, G и K	$4 \cdot 10^{-18}$ (**)	50	Поиск импульсов, одновременно появляющихся в обоих фильтрах 2 и 10 МГц, с помощью приемников, имеющих временное разрешение 4 мкс	20
Стабильные орбиты около точек либрации $L_4$ и $L_5$ в системе Земля-Луна	$m_V < 14$	30	Попытка обнаружить дискретные объекты (такие, как межзвездные зонды) на стабильных орбитах около точек либрации $L_4$ и $L_5$ посредством изучения 90 фотопластинок	21
Видимые положения космических кораблей НАСА	$8 \cdot 10^{-24}$ (**)		Автоматический поиск, осуществляющийся наблюдениям космических объектов; используется 512-канальный автокорректор и 100-канальный корректор с микропроцессорным управлением	

12. Зак. 626

177

Продолжение табл.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1979—1981	тет, Беркли, устройство "ЗЕРЕНДИП-2" Тартер, Блэк, Кларк, Куззи	НАИК, США	305	1420,4±2 1666 ± 2	5 и 600	200 звезд	$10^{-26}$ (**)	100	Скоростной однобитовый семплер и высокоскоростной магнитофон вместе с 1008-канальным коррелятором. Используется приставка прямого преобразования Фурье, как в работе Блэка и др., 1977 г.	
1980	Виттеборн	Маун Лемон	1,5	ИК-диапазон 8,5—13,5 мкм	1 мкм	20 звезд		50	Поиск ИК-избытков от сфер Дайсона около звезд солнечного типа. Звезды выбраны исходя из того, что они слишком слабы для своего спектрального класса	
1981	Лорд, О'Деа	Массачусетский университет, США	14	115 000	$2 \cdot 10^6$ $1,25 \cdot 10^5$ $4 \cdot 10^5$	Участок северной оси вращения Галактики от $l = 5^\circ$ до $l = 90^\circ$	$10^{-24}$ (**)	50	Поиск сигналов вблизи частоты радиолинии CO ( $J = 1-0$ ) от передатчика, расположенного где-либо в направлении Галактической оси	
1981	Израэл, Тартер	ВСРТ, Нидерланды	[Система из 12 25-метровых зеркал], максимальная база 3000 м	1420	$4 \cdot 10^6$ $\cdot 10^7$	85 звездных полей	от $8 \cdot 10^{-22}$ до $6 \cdot 10^{-24}$	600	Сопутствующий поиск, аналогичный работе Израэла и де Ройтера (1975—1979). Использовались "неочищенные" карты Вестерборкского обзора, хранящиеся в Лейдене и Гронингене а также звездный каталог AGK 3	22
С 1981 по настоящее время	Биро, Тартер	Нанси, Франция	40 x 240	1665—1667	97,5	300 звезд	$10^{-23}$ (**)	80 к настоящему времени	8-уровневый 1024-канальный автокоррелятор с перестраиваемым первым гетеродином, перекрывающий широкую спектральную область при умеренном разрешении	
1981	Шостак, Тартер (проект "Сигнал")	ВСРТ, Нидерланды	[Система из 12 25-метровых зеркал], максимальная база 3000 м	1420,4 относительно Галактического центра $V = 156$ КГц	1200	Галактический центр	$10^{-24}$ (**)		Поиск с помощью интерферометра импульсных сигналов из центра Галактики с периодами от 40 с до 24 ч	
1981—1982	Валдес, Фрейтас (проект "СЕТА")	КПНО, США	0,61	Оптич. диапазон 5500 Å	—	Точки Лагранжа $L_1, L_5$ в системе Земля—Луна и точки $L_1, L_2$ в системе Солнце—Земля	$10 \leq m_V \leq 19$	70	Попытка обнаружить дискретные артефакты (размером больше нескольких метров) на стабильных орбитах вблизи точек Лагранжа. Исследовано 137 фотопластинок III aF	23

Окончание табл.

1	2	3	4	5	6
1982	Горовиц, Тигю, Линскотт, Чэн, Бэккус	НАИК, США Аппаратура "Чемодан SETI"	305	2840,8; B = 4 КГц  1420,4; B = 2 КГц	0,03, линейная поляризация; 0,03, две круговые поляризации
1982	Валле Симард-Нормандин	АРО, Канада	46	10 522	$185 \cdot 10^6$
1982	Горовиц (проект "Сентинель")	Оак Ридж, США	26	1420,4 1665,4 1667,3 2840,8 B = 2 КГц	0,03, двойная круговая поляризация
1983	Дамашек	НРАО, США	92	$390 \pm 8$	$2 \cdot 10^6$
1983	Валдес, Фрейтас	ХКРО, США	26	$1516 \pm 2,5$	$4,9 \cdot 10^3$
С 1983 по настоящее время	Гулкис	ДСС-43, Австралия	64	8000 $2380 \pm 5$	76 $4 \cdot 10^4$
С 1983 по настоящее время	Грэй	"Малая SETI-обсерватория" (вблизи Чикаго), США	4	1419,5—1421,5	40
С 1983 по настоящее время	Каллерс	AMSETI (любительская SETI), США	2	1420 <1000	—
С 1983 по настоящее время	Стефенс	Хай Ривер, Канада	[ 15 ? ]	1400—1700	$3 \cdot 10^{-4}$

7	8	9	10	11
250 звезд	$4 \cdot 10^{-26}$ (**)	75	Двойной 64-канальный микропроцессорный анализатор спектра в реальном времени со свипированием частоты гетеродина к исследуемым "магическим частотам"	
150 звезд	$8 \cdot 10^{-28}$ (**)			
Центральный Галактический меридиан	$10^{-19}$ (**)	72	Поиск сильно поляризованных сигналов посредством картирования области размером $1,4 \times 25^\circ$ вдоль долготы $l = 0^\circ$	
Обзор неба	$8 \cdot 10^{-26}$ (**)	Непрерывные наблюдения	Аппаратура "Чемодан SETI" используется для автоматического обзора неба на 4 или 5 магических частотах в течение более чем 5-летнего наблюдательного периода	
Обзор неба для обнаружения пульсаров	$10^{-28}$	700	Поиск одиночных дисперсированных импульсов и сигналов типа телеметрических [ в записях обзора неба, сделанного с 92-метровым радиотелескопом НРАО с целью обнаружения пульсаров ]	
80 звезд	$3 \cdot 10^{-24}$ (**)	100	Поиск линий радиоактивного трития от ядерных взрывов	
12 близких звезд	$2 \cdot 10^{-25}$			
Участок южного неба	$2 \cdot 10^{-22}$ (**)	800	Обзор неба при фиксированных значениях склонения во время ремонта механической части антенны (в апреле 1983 г. получены 3 скана от $-28,9^\circ$ до $-34,3^\circ$ )	24
Обзор неба и участок на склонении $-27^\circ$	$10^{-22}$	Непрерывные наблюдения	Специальная поисковая система, сконструированная любителями и действующая по вечерам	
—	—	То же	Низкошумящие полевые транзисторы из арсенида галлия и спутниковые телевизионные антенны используются радиолюбителями из Силиконовой Долины при консультации специалистов исследовательского центра НАСА.	
Обзор неба	—	»	Запасные антенны для исследования тропосферного рассеяния используются в качестве специальной любительской SETI-обсерватории	

1. Drake F.D. — Sky and Telesc., 1960, vol. 39, p. 140.
2. Кардашев Н.С. — Астрон. журн., 1964, т. 41, вып. 2, с. 282—287. Гипотеза об искусственной природе СТА-21 и СТА-102; Шоломицкий Г.Б. — Астрон. журн., 1965, т. 42, вып. 3, с. 673—674; Шоломицкий Г.Б. — Астрон. циркуляр, № 359, 1966, с. 1—4; Scholomitskii G.B. — IAU information bulletin on variable stars, 1965, 27 Feb.
3. Kellermann K.I. — Austral. J. Phys., 1966, vol. 19, p. 195.
4. Троицкий В.С., Стародубцев А.М., Герштейн Л.И., Рахлин В.Л. — Астрон. журн., 1971, т. 48, вып. 3, с. 645—647.
5. Троицкий В.С., Стародубцев А.М., Бондарь Л.Н. и др. — Изв. вузов. Радиофизика, 1973, т. 16, № 3, с. 323—341; Троицкий В.С., Бондарь Л.Н., Стародубцев А.М. и др. — ДАН СССР, 1973, т. 212, № 3, с. 607—610; Троицкий В.С., Бондарь Л.Н., Стародубцев А.М. и др. — УФН, 1974, т. 113, вып. 4, с. 714—723; Бондарь Л.Н., Стрешнева К.М., Троицкий В.С. — Астрон. вестн., 1975, т. 9, № 4, с. 210—217; Троицкий В.С. — В кн.: Проблема СЕТИ: (Связь с внеземными цивилизациями). М.: Мир, 1975, с. 253—257.
6. Пащенко М.И., Рудницкий Г.М., Слыш В.И., Филлит Р. — Астрон. циркуляр, № 626, 1971, с. 1—3; Пащенко М.И., Рудницкий Г.М., Слыш В.И. — Изв. вузов. Радиофизика, 1973, т. 16, № 9, с. 1344—1349; Лехт Е.Е., Рудницкий Г.М., Франкеле О., Друзн Ж.-П. — Письма в "Астрон. журн.", 1975, т. 1, № 2, с. 29—32.
7. Vershuur G.L. — Icarus, 1973, vol. 19, p. 329—340.
8. Кардашев Н.С., Согласнов В.А. и др. — Астрон. журн., 1977, т. 54, № 1, с. 3—17; Gindilis L.V., Kardashev N.S. et al. — Acta astronaut., 1979, p. 95—104.
9. Palmer P., Zuckerman B. — The NRAO Observer, 1972, vol. 13, N 6, p. 26; Sheaffer R. — Spaceflight, 1977, vol. 19, N 9, p. 307.
10. Dixon R.S., Cole D.M. — Icarus, 1977, vol. 30, p. 267; Kraus J.D. — Cosmic Search, 1972, vol. 1, N 3, p. 32.
11. Morrison P. — Letter to directors of Radio Observatories dated August 29, 1975 which appears in NASA SP-419, p. 204.
12. Шварцман В.Ф. — Сообщ. САО АН СССР, 1977, № 19, с. 5—38; Бескин Г.М. и др. — Сообщ. САО АН СССР, 1977, № 20, с. 18—29; Евсеев О.А. и др. — Сообщ. САО АН СССР, 1977, № 20, с. 30—38; Шварцман В.Ф. — В кн.: Проблема поиска внеземных цивилизаций. М.: Наука, 1981, с. 122—125.
13. Sagan C., Drake F. — Sci. Amer., 1974, vol. 232, p. 80.
14. Turner G. (1975), Langley D. (1976), Gilbert B. (1977) Unpublished theses for M.S. degree in Department of Computer Science and Electrical Engineering at UC Berkeley; Murray B., Gulkis S., Edelson R.E. — Science, 1978, vol. 199, p. 485.
15. Tarter J., Black D., Cuzzi J., Clark T. — Icarus, 1980, vol. 42, p. 136.
16. Tarter J., Cuzzi J., Black D., Clark T., Stull M., Drake F. — 1979, to be published in Acta Astronautica, paper 79-A-41 presented at 30th IAF Congress in Munich, Germany.
17. Horowitz P. — Science, 1978, vol. 201, p. 733.
18. Cohen N., Malkan M., Dickey J. — Icarus, 1980, vol. 41, p. 198.
19. Sullivan W.T., 3rd, Brown S., Wetherill C. — Science, 1978, vol. 199, p. 377.
20. Cole T.N., Ekers R.D. — Proc. ASA, 1979, vol. 3, p. 328.
21. Freitas R.A., Valdes F. — Icarus, 1980, vol. 42, p. 442.
22. Tarter J., Israel F.P. — Paper IAA-81-299 presented at IAF Congress Rome, Italy, September, 1981.
23. Valdes F., Freitas R.A.Jr. — Icarus, 1983, vol. 53, p. 453.
24. Kuiper T., Gulkis S. — Planet. Rep., 1983, vol. 3, p. 17.

УДК 520.876+523.164

Г.С. Царевский

КОСМИЧЕСКАЯ РАДИОАСТРОНОМИЯ  
КАК ИНСТРУМЕНТ СЕТИ

Негативный опыт поисков сигналов ВЦ [1—3] приводит к необходимости исследования путей улучшения всех основных параметров эксперимента: чувствительности, разрешающей способности (пространственной и спектральной), расширения спектрального диапазона, а также увеличения общего времени, затрачиваемого на поиск. Здесь, как обычно, путь развития лежит не только в русле новых идей, но и в плане общего прогресса техники. Разумеется, наиболее плодотворных результатов следует ожидать на пути проверки новых концепций средствами развивающейся техники.

Одной из таких концепций является предположение о том, что вероятным диапазоном поиска ВЦ является длина волны около 1,5 мм [4, 5]. Однако наблюдения в этом диапазоне затруднены, с одной стороны, существенным поглощением атмосферы (10—80 дБ для различного влагосодержания [6]), а с другой — весьма скромным числом телескопов миллиметрового диапазона (что связано, в частности, с ветровыми и весовыми ограничениями при создании высокоточных конструкций).

Радиоастрономические методы занимают ведущее место в проблеме СЕТИ, но в настоящее время наземная радиоастрономия близка к пределу возможностей по всем наблюдательным параметрам. Принципиальные технические и методические возможности открываются здесь с развитием нового направления космических исследований — космической радиоастрономии [7—9]. Эти возможности мы рассмотрим ниже, но сначала остановимся на ограничениях, присущих наземной радиоастрономии.

**Ограничения в области наземных антенн.** Имеется ряд ограничений (зачастую принципиальных), к которым вплотную приблизилась наземная антенная техника, используемая в радиоастрономии.

1. Прежде всего это весовые и ветровые ограничения, из-за которых современный предел диаметра полноповоротных антенн — 100 м — вряд ли будет существенно превзойден [10].

2. Поглощение в атмосфере (непрерывное и в линиях) ограничивает спектральный диапазон, делая недоступным километровый и миллиметровый—субмиллиметровый участки радиоспектра.

3. Флуктуации сигнала в неоднородной подвижной атмосфере являются серьезным шумовым фактором, нарушающим когерентность излучения и ограничивающим метрологические характеристики радиоинтерферометров [11].

4. Индустриальные помехи неуклонно растут. Мало помогают решения о распределении спектральных диапазонов из-за взаимных влияний систем, переходных процессов и трудностей обеспечения идеальной электромагнитной совместимости [12].

5. Угловое разрешение радиointерферометров, состоящих из разнесенных антенн, определяется соотношением

$$\varphi = b\lambda/B, \quad (1)$$

где  $\lambda$  — длина волны;  $B$  — база интерферометра (проекция расстояния между фазовыми центрами антенн на картинную плоскость);  $b$  — фактор, зависящий от принятого критерия разрешения. Длина волны ограничена коротковолновой границей пропускания атмосферы (около 1 мм), а база современных радиointерферометров со сверхдлинной базой (РСДБ) уже достигла глобальных размеров. В результате использования такого "глобального" радиотелескопа достигнуто угловое разрешение до 0,0002" [13]. Эта величина чрезвычайно мала, но имеется ряд актуальных астрофизических задач, для решения которых желательно существенно повысить угловое разрешение. Если ставить задачу обнаружения компактных структур с резкими краями, образуемых ВЦ, то и здесь будет полезным угловое разрешение, превосходящее земной предел.

6. Стоимость  $C$  наземных полноповоротных антенн растет с диаметром по закону [10]

$$C = C_0 D^{2,8}, \quad (2)$$

т.е. очень быстро. Если ставить вопрос о создании наземных систем, превышающих по чувствительности имеющиеся на порядок и более, то стоимость становится принципиально ограничивающим фактором.

**Возможности космической радиоастрономии.** Влияние всех перечисленных выше факторов, ограничивающих развитие наземной радиоастрономии, уменьшается или совсем исчезает при выносе радиотелескопа за пределы атмосферы. Прежде всего в условиях невесомости возможно создание антенных полей, размер которых во много раз превосходит диаметр крупнейших наземных антенн [9]. Это сочетается с возможностями развивающихся транспортных космических систем, способных доставлять на орбиту полезные нагрузки большого веса. Здесь космическая радиоастрономия идет в ногу с работами по созданию больших конструкций в космосе — энергетических установок, технологических комплексов, "колоний" и т.п.

Габариты полезных нагрузок относительно невелики, поэтому для создания антенных полей необходимо использовать автоматически развертываемые конструкции, опыт создания которых имеется [14, 15]. При этом отношение площади раскрытой (ферменной) антенны к поперечному сечению укладки  $S_y$  составляет

$$S_a/S_y = \lambda_{\min} D_a / 16d^2, \quad (3)$$

где  $S_a$  и  $D_a$  — площадь и диаметр космического радиотелескопа (КРТ);  $d$  — диаметр стержней каркаса антенны;  $\lambda_{\min}$  — минимальная рабочая длина волны. Для отработанных конструкций отношение достигает 400 [14].

Основные причины, препятствующие достижению заданной точности отражающей поверхности КРТ, заключаются в следующем: дифференциальное гравитационное воздействие, неравномерный нагрев и световое давление. В работе [9] проведены расчеты, учитывающие деформации, которым подвергается большая конструкция на орбите под влиянием гравитационного поля Земли и поля излучения Солнца. Показано, что диаметр КРТ сантиметрового диапазона, размещенного на геостационарной орбите, может достигать 10–20 км. При этом, напомним, исчезают атмосферные помехи и появляется возможность существенно понизить уровень промышленных помех как за счет удаления от земли, так и путем применения защитных экранов [16].

Суммарный перспективный выигрыш в чувствительности чрезвычайно велик — более  $10^5$  ( $\sim 10^4$  за счет увеличения площади и 10 за счет уменьшения уровня помех).

Разрешающая способность для КРТ возрастает как за счет повышения орбиты, так и при работе в миллиметровом и субмиллиметровом диапазонах. Суммарный перспективный выигрыш в разрешающей способности также очень велик — до  $10^5$  ( $\sim 10^4$  из-за повышения орбиты и более 10 за счет уменьшения длины волны).

Рассматривая экономическую сторону вопроса, отметим существенный выигрыш для КРТ по массе расходуемого материала. Если для крупного радиотелескопа на Земле эта величина составляет около  $100 \text{ кг/м}^2$  (без учета массы поворотного устройства), то для КРТ получаем  $1\text{--}10 \text{ кг/м}^2$  [9, 14, 15].

Выигрыш в стоимости КРТ по сравнению с наземной антенной системой эквивалентного диаметра оценивался в работе [9]. До диаметра 1 км стоимость КРТ выше, в частности из-за высоких расходов на вывод конструкций на орбиту и их монтаж. Но уже для 3-километровых телескопов отношение стоимостей  $\sim 5$  в пользу КРТ. В работе [16] сравнивается вероятная стоимость антенн, предназначенных для SETI и размещаемых на Земле, Луне или в космосе. Вывод: для эффективного поиска ВЦ, расположенных далее 5000 св. лет, наиболее дешевым будет именно КРТ.

**Космические радиointерферометры.** Можно ожидать, что астроинженерные конструкции будут представлять собой компактные структуры, содержащие в качестве элементов "правильные" детали типа прямоугольника, треугольника, тора и т.п. Кроме того, характерной особенностью такой структуры (в отличие от "естественного" астрофизического объекта) должен быть резкий край. Для радиointерферометра, осуществляющего апертурный синтез, выходным сигналом является функция видности, поведение которой (с изменением регистрируемой пространственной частоты, т.е. с изменением базы) существенно зависит от структуры объекта, от наличия в нем компактных деталей. Резкий край может быть обнаружен по поведению функции видности, так как он регистрируется на самой высокой пространственной частоте.

Для начала целесообразно рассматривать радиointерферометр, одно плечо которого представляет собой КРТ, а второе — наземный радиотелескоп (НРТ), т.е. наземно-космический интерферометр. Такой инструмент даст практически неограниченное повышение разрешающей способности за счет повышения высоты орбиты, но будет ограничено амплитудно-фазовыми флуктуациями и поглощением полезного сигнала в атмосфере. Рассмотрим различные виды интерферометров с применением КРТ.

1. Наземно-космический радиointерферометр с низкоорбитальным КРТ. Он может быть создан на базе хорошо отработанных космических аппаратов типа "Салют", т.е. КРТ будет иметь высоту орбиты 400–600 км. Здесь пока нет существенного выигрыша по угловому разрешению (по сравнению с глобальным радиотелескопом), но достигается новый специфический эффект — хорошее и быстрое заполнение спектра пространственных частот (СПЧ) распределения яркости исследуемого источника [17]. Это обусловлено большой относительной скоростью КРТ и НРТ, а также несинхронностью их обращения относительно общего центра. Следовательно, база КРТ–НРТ будет меняться быстро как по величине, так и по направлению.

Хорошо известен хронический недостаток наземного РСДБ-интерферометра (радиointерферометра со сверхдлинной базой) — векторные гармоники СПФ, изменяющиеся по мере вращения Земли, образуют весьма

скудный набор, полностью повторяющийся при каждом новом полуобороте. При построении радиокарты приходится привлекать упрощающие модельные предположения, что чрезвычайно обедняет получаемые результаты.

Если проследить процесс заполнения СПЧ системой "НРТ — низкоорбитальный КРТ", то окажется, что полное и равномерное заполнение происходит за время порядка суток. Следовательно, здесь, по существу, имеет место последовательная система радиоастрономического космического синтеза (сокращенно РАКСАС) [17]. Альтернативой такой системе мог бы быть глобальный радиотелескоп, состоящий из многих НРТ, расположенных в виде равномерной или "случайной" решетки [18]. Но такой инструмент чрезвычайно громоздок, весьма дорог и неперспективен.

Если сравнить информативность следующих систем: РАКСАС, двухэлементного и многоэлементного интерферометров — то окажется, что первый сравнивается по информативности с 7-элементным РСДБ (при этом РАКСАС намного превосходит последний по заполнению СПЧ).

2. Наземно-космический радиоинтерферометр с высокоапогейным КРТ. Проект радиоинтерферометра с КРТ, находящимся на орбите с высотой апогея до 1 млн км, описан в работе [19]. Угловое разрешение такого инструмента превышает разрешение глобального радиотелескопа в  $10^2$  раз, но СПЧ заполняется сравнительно медленно. Для обеспечения разнообразия ориентаций базы целесообразно предусмотреть постепенную эволюцию орбиты КРТ с изменением плоскости орбиты и направления большой ее оси.

3. Межпланетный (эклиптикальный) радиоинтерферометр. Такое название можно дать инструменту, у которого КРТ выносится на орбиту с удалением от Земли ~ 100 млн км. Существует предложение использовать для этой цели антенну, предназначенную для радиокартографирования поверхности Венеры (проект VOIR) [20]. При столь большой базе возможна постановка экспериментов, выясняющих предельные возможности метода РСДБ, которые могут быть ограничены мерцаниями радиоизлучения компактного источника на неоднородностях космической среды. Этот эффект может ограничить возможности обнаружения далеких астроинженерных конструкций, так как влияние резкого края на функцию видности интерферометра будет сглажено [21].

На столь больших базах возможна постановка принципиально новых экспериментов, в частности реализация "голографического" инструмента, состоящего из трех антенн и измеряющего кривизну фронта приходящего излучения [22]. При этом происходит прямое измерение расстояний до источников (аналогично методу параллакса), а также возможно трехмерное ("глубинное") зондирование, т.е. построение объемных изображений регистрируемых объектов.

**Заключение.** Таким образом, использование КРТ может беспрецедентным образом повысить потенциал исследований в области SETI. В условиях невесомости и при отсутствии мешающего влияния земной атмосферы улучшаются практически все наблюдательные параметры радионаблюдений, включая чувствительность, угловое разрешение, спектральный диапазон. Кроме того, в перспективе существенно улучшаются экономические показатели: стоимость (включая затраты на вывод в космос, монтаж на орбите и эксплуатацию) и расход материала.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Троицкий В.С., Стародубцев А.М., Герштейн Л.И. и др. — Астрон. журн., 1971, т. 48, № 3, с. 645.

2. Кардашев Н.С. Последние исследования SETI в СССР: Препринт ИКИ АН СССР № 279. М., 1977.
3. Murray B., Gulkis S., Edelson R. — Science, 1978, vol. 199, p. 485.
4. Kardashev N.S. — Nature, 1979, vol. 278, p. 28.
5. Кардашев Н.С. — В кн.: Проблема поиска внеземных цивилизаций. М.: Наука, 1981, с. 29.
6. Findlay J.W., von Hoerner S. — NRAO Report, 1972, p. 99.
7. Кардашев Н.С., Парийский Ю.Н., Соколов А.Г. — УФН, 1971, т. 106, с. 328.
8. Буякас В.И., Гвамичава А.С., Кардашев Н.С. и др. — Космич. исслед., 1978, т. 16, № 5, с. 767.
9. Буякас В.И., Гвамичава А.С., Кардашев Н.С. и др. — Космич. исслед., 1978, т. 16, № 6, с. 924.
10. Хансен Р.Ч. — ТИИЭР, 1981, т. 69, № 2, с. 35.
11. Дравских А.Ф., Стоцкий А.А., Финкельштейн А.М., Фридман П.А. — Изв. САО АН СССР, 1978, т. 10, с. 108.
12. Шауэрс Р.М., Шульц Р.Б., Линь Шоюань. — ТИИЭР, 1981, т. 69, № 2, с. 50.
13. Батчелор Р., Джонси Д.Л. и др. — Письма в "Астрон. журн.", 1976, т. 2, № 10, с. 467.
14. Соколов А.Г., Гвамичава А.С. — В кн.: Антенны. М.: Сов. радио, 1981, вып. 29, с. 3.
15. Богомолов А.Ф., Букарева Н.В., Фейзулла Н.М. и др. — В кн.: Антенны. М.: Сов. радио, 1981, вып. 29, с. 10.
16. Basler R.P., Johnson G.L., Vondrak R.R. — Radio Science, 1977, vol. 12, N 5, p. 845.
17. Кардашев Н.С., Погребенко С.В., Царевский Г.С. — Астрон. журн., 1980, т. 57, № 3, с. 634.
18. Есепкина Н.А., Корольков Д.В., Парийский Ю.Н. Радиотелескопы и радиометры. М.: Наука, 1973.
19. Андреев В.В., Кардашев Н.С. — Космич. исслед., 1981, т. 19, № 5, с. 763.
20. Burke B.F., Kardashev N.S. — Proposals of the Interplanetary Baseline Interferometer for VOIR Mission. — MIT and SRI, USA—USSR, 1979.
21. Матвеев Л.И. Ограничения углового разрешения радиоинтерферометра со сверхдлинной базой: Препринт ИКИ АН СССР № 479. М., 1979.
22. Кардашев Н.С., Парийский Ю.Н., Умарбаева Н.Д. — Изв. САО АН СССР, 1973, т. 5, с. 16.

УДК 523.40 + 523.164

Л.В. Ксанфомалити

### ПОИСК ПЛАНЕТНЫХ СИСТЕМ У БЛИЖАЙШИХ ЗВЕЗД И ПРОБЛЕМА SETI

В то время, как значительная часть звезд Галактики доступна для изучения астрофизическими методами, ни одна из гипотетических планетных систем у других звезд пока уверенно не обнаружена. Имеющиеся немногочисленные работы вызывают серьезные критические замечания. От астрономических наблюдений такого рода требуется настолько высокая точность, что она находится на пределе или за пределами возможностей современной наземной астрономической техники. Не следует думать, что вынос измерительной аппаратуры в космос решит все проблемы. Здесь возникают свои трудности, связанные с выполнением программы, рассчитанной на много лет или десятилетия.

Вместе с тем задача поиска планетных систем у других звезд становится с каждым годом все более актуальной. Интерес к проблеме диктуется как стремлением понять сам механизм формирования планетных систем, так и планетным аспектом проблемы SETI. Как известно, первый множитель в простейшей формуле Дрейка, оценивающей вероятное число коммуникативных цивилизаций в Галактике, коэффициент  $f_p$  определяет долю звезд, обладающих планетными системами [1, с. 12]. Все, чем мы сейчас распола-

гаем для оценки  $f_p$ , состоит из немногочисленных косвенных результатов астрометрических наблюдений, некоторых выводов наблюдательной астрофизики, теоретических расчетов и моделей происхождения Солнечной системы, а также самого факта существования последней.

**Планетные системы других звезд: наблюдения.** Наиболее серьезной работой такого рода является многолетнее исследование Ван-де-Кампа [2, 3], охватившее период более 60 лет начиная с 1916 г.

Для анализа использовались снимки, полученные в обсерватории Srool на одном и том же инструменте (61-сантиметровом рефракторе), всего 3036 фотопластинок. На них известными астрономическими приемами измерялось положение "летающей" звезды Барнарда. Наибольшее число пластинок, 2700, относится к интервалу 1950–1978 гг. На 2400 из них было обнаружено изменение положения звезды, повторяющееся с периодом около 25 лет, достигающее  $4 \cdot 10^{-2}$  угл. сек. Эти данные можно интерпретировать, как обращение звезды вокруг общего барицентра звездно-планетной системы. Наблюдательным данным хорошо удовлетворяет предположение, что имеются две планеты с массами порядка 0,8 и 0,4  $m_J$  (масс Юпитера) и периодами обращения 11,7 и 26 лет. Другая интерпретация предполагает существование трех планетных тел [4], что объясняет наблюдаемые эффекты еще лучше.

Летающая звезда Барнарда — красный карлик класса M5 V, с абсолютной светимостью 9,54 зв. величины. Звезда находится на расстоянии 1,81 пк от Солнца и имеет рекордно большое собственное движение — 10,31 угл. сек/год. Масса звезды мала — 0,14 солнечной, поэтому ее смещение под действием тяготения предполагаемых планет с указанными массами должно быть достаточно большим, по расчетам Ван-де-Кампа — 0,0156 и 0,0114 а.е. Большие полуоси орбит двух планет составляют 2,7 и 3,8 а.е. На рис. 1 приводится график, иллюстрирующий изменение положения звезды Барнарда.

Многолетняя работа Ван-де-Кампа отличается исключительной аккуратностью. Измерения очень трудоемки: смещение изображения звезды на фотопластинках составляло доли микрона. Астрометрическая привязка выполнялась по 4 близкорасположенным звездам. Вместе с тем величина 0,043 угл. сек, полученная астрометрическим методом настолько мала, что ее достижимость средствами наземной астрономии была подвергнута сомнениям [5]. Гейтвуд и Эйхорн обработали независимо полученные на другой обсерватории фотографии положения той же звезды, но не получили признаков периодических смещений. Из этого они сделали вывод о вероятном влиянии на условия наблюдений Ван-де-Кампа каких-то местных эффектов. Но по данным на 1979 г., Ван-де-Камп и его коллеги настаивают на правильности своих результатов.

Имеются также сообщения о присутствии планетных систем у некоторых других ближайших звезд, например у  $\epsilon$  Eri. С другой стороны, в работе [6] Гейтвуд указывает, что не подтверждается существование у ближайших звезд планетных тел с массами  $< 0,01 m_\odot$ . Имеющиеся астрометрические работы, по его мнению, отягощены значительными систематическими погрешностями.

Таким образом, на вопрос, имеются ли у ближайших звезд планетные системы, наземная астрометрическая техника ответить однозначно не позволяет.

Сомнения в обнаружении (и обнаружимости) планетных систем вызвали у астрономической общественности некоторое разочарование. Этому способствовали работы Шкловского [7] и фон Хорнера [8]. Так, в [7] автор полагает, что число экологически пригодных для жизни планет долж-

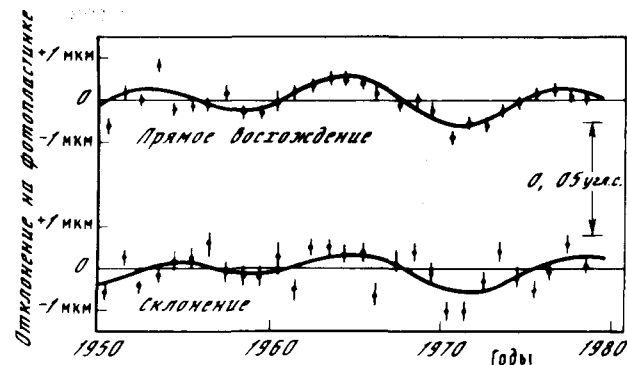


Рис. 1. Результаты обработки многолетних наблюдений звезды Барнарда [5]. Каждая точка соответствует осреднению 93 снимков, сделанных за год (в среднем). Собственное движение исключено. Вертикальная шкала — изменения положения звезды на фотопластинке

но быть уменьшено по сравнению с первоначальными предположениями [1] на два порядка.

Серьезной критике подвергся и другой, более косвенный аргумент в пользу существования планетных систем. Массивные звезды классов O, B, A0 имеют, как правило, большой вращательный момент, несколько убывающий от класса O к A0. В области звезд A0 — A5 момент падает более резко, а далее, при сравнительно небольшом уменьшении массы (A5, F0, F5, G0), снижается на полтора порядка. Голд указывает [1, с. 16–19], что поскольку на долю всего 0,2% массы Солнечной системы, т.е. на планеты, приходится 98% момента количества движения, логично рассматривать суммарный момент системы. Тогда различия в моменте устраняются. Предположение такого рода подразумевает массовое образование планетных систем у звезд A5 — G0. В свою очередь, из этих рассуждений следует, что образование планетных систем — закономерное явление во Вселенной. Критический анализ проблемы показывает, однако, что уменьшение момента может быть объяснено "потерей вещества с поверхности звезды, а также явлением кратности звезд" [7].

Рассмотрим теперь некоторые ограничения на характеристики планет и центральных звезд, удовлетворяющие требованиям проблемы SETI.

**Планетные системы карликовых звезд — неподходящее место для возникновения жизни.** Уверенная регистрация присутствия планетных систем у карликовых звезд, например у красных карликов — звезды Барнарда или Проксима Центавра, несомненно, была бы важна для оценки фактора  $f_p$ . Но для проблемы SETI этого недостаточно. Дело в том, что возникновение жизни на этих планетах представляется весьма сомнительным, хотя в литературе и встречаются такие предположения. Их авторы указывают, что, поскольку звезды-карлики расходуют свою энергию очень экономно, можно представить себе планеты вблизи звезд, расположенные в комфортной, с точки зрения человека, энергетической зоне. Такие планеты были бы обеспечены постоянным потоком энергии от центрального светила на многие миллиарды лет. Отсюда — рекомендация изучать планетные системы звезд-карликов [1, с. 18, 30, 39–41]. Так, Саган указывает: «... если укоротить большие полуоси планетных орбит, т.е. "прижать" планеты к родительской звезде, то у каждой звезды класса M может оказаться несколько планет, пригодных для жизни... В качестве первой цели



Таблица 1

Звезда	Класс	$M_{\odot}$	$M$	$R$	$a$ , а.е.	$a$ , млн км	$P$ , сут
Солнце	G2	4,75	1	1	1	150	365
Barnard	M5V	13,15	0,14	—	0,020	3,1	2,9
Krüger 60	M3	11,80	0,27	—	0,039	5,8	5,4
$\eta$ Cas (B)	M0V	8,50	0,52	0,52	0,178	26,7	38
61 Cyg (B)	K7V	8,30	0,60	0,84	0,195	29,2	40,6
61 Cyg (A)	K5V	7,50	0,63	0,86	0,280	42,3	69
$\sigma^2$ Eri	K1V	5,89	0,80	0,93	0,590	88,7	197

наших исследований я мог бы порекомендовать, например, звезду Барнарда» [1, с. 40].

Легко показать, что такое утверждение основано на недоразумении: "прижимать" планеты к звезде приходится буквально вплотную! В качестве примера рассмотрим несколько звезд класса M: звезду Барнарда, Krüger 60 и  $\eta$  Cas B, а также три звезды класса K: 61 Cyg (A и B) и  $\sigma^2$  Eri. Их спектральные классы, примерные болометрические светимости  $M_{\odot}$ , массы  $m$  и радиусы  $R$  [9] вместе с такими же параметрами для Солнца приведены в табл. 1. Рассчитывалось, на каком расстоянии от центра звезды  $a$  следует поместить планету со сферическим альбедо  $A_{\text{сф}}$ , равным альбедо Земли, чтобы энергетическая освещенность  $E$  была равна известной для Земли солнечной постоянной  $E_0$ . Собственно это условие и определяет равновесную температуру  $T$  планеты:

$$\sigma T^4 = (1 - A_{\text{сф}}) E_0 / 4a^2. \quad (1)$$

Чтобы на гипотетической планете с таким же, как у Земли  $A_{\text{сф}}$  были "нормальные" земные условия, большая полуось ее орбиты должна составлять  $a = a_0 \sqrt{E_1/E_0}$ . Под  $E_1$  и  $E_0$  следует понимать энергетическую освещенность, определяемую болометрическими светимостями звезды  $M_{\odot}$  и Солнца  $M_{\odot}$ . Из хорошо известного соотношения  $M_{\odot} - M_{\odot} = 2,5 \lg (E_1/E_0)$  следует:

$$a = [2,512 \exp (M_{\odot} - M_{\odot})]^{-1/2}, \quad (2)$$

где  $a$  выражено в астрономических единицах. Период обращения  $P$  такой планеты вокруг звезды определяется массой звезды  $m$  и гравитационной постоянной  $\gamma$

$$P = 2\pi(a^3/\gamma m)^{1/2}. \quad (3)$$

Звезды были выбраны так, чтобы охватить спектральные классы K и M.

Полученные результаты приведены в табл. 1. Во всех случаях планета должна находиться на расстояниях  $a$ , меньших большой полуоси орбиты Меркурия (0,39 а.е.). Исключение —  $\sigma^2$  Эридана. Для звезд M5 и M3 расстояние  $a$  вообще составляет всего 3–6 млн км, а период обращения не превосходит 3–6 сут. Но и для звезд классов M0 — K5 большая полуось орбиты такой гипотетической планеты была бы 25–41 млн км, а период обращения 38–70 сут. Для звезд классов K7–M5 расстояние  $a$  настолько мало, что приливные воздействия центральной звезды должны быть очень сильными. Следовательно, во всех случаях планета неизбежно должна быть заторможена, т.е. должна иметь синхронный период вращения, когда одна

ее половина постоянно обращена к звезде и сильно нагрета, а на другой — вечная ночь и низкие температуры. Возникновение и развитие жизни в таком мире представляется довольно сложным, не говоря уже о том, что планета, по-видимому, просто не могла сформироваться в этой зоне. В первых двух случаях орбита гипотетической планеты проходит недалеко от предела Роша

$$R_p \leq 2,44 R (\rho_s/\rho_p)^{1/3}, \quad (4)$$

который составляет 0,5–0,6 млн км. (Здесь  $\rho_s$  — плотность звезды;  $\rho_p$  — плотность планеты.) Поэтому протопланетные тела (планетезимали) здесь должны быстро разрушаться. В случае звезды  $\sigma^2$  Eri класса K1V, имеющей большую абсолютную светимость (6 зв. величина) и массу  $0,8 m_{\odot}$ , гипотетическая планета должна быть помещена на орбиту, расположенную на расстоянии 0,59 а.е. от звезды, т.е. между орбитами Меркурия и Венеры для Солнечной системы. Напомним, однако, что Меркурий в своем вращении находится в резонансной "ловушке", да и Венера имеет резонанс относительно Земли. Таким образом, даже в этом случае (год  $\approx 200$  сут,  $a = 0,59$  а.е.) планета может находиться в синхронном вращении.

Вывод: для звезд, принадлежащих классам от K5V до самых поздних, класса M, существование обитаемых планет представляется маловероятным. Звезды малой массы и низкой светимости можно исключить из списка SETI.

**О некоторых оптимальных параметрах обитаемых планет.** Если для оценки фактора  $f_p$  пока нет достаточных экспериментальных данных, то положение со вторым сомножителем формулы Дрейка,  $n_e$  — средним количеством планет, экологически пригодных для жизни в некоторой планетной системе, — несколько лучше. И хотя проблема происхождения жизни ничуть не проще проблемы образования планет, космические исследования Солнечной системы уже дали некоторые минимальные основания для оценки  $n_e$ . Программа "Викинг", посвященная поиску простейших форм жизни на Марсе, дала, как известно, отрицательный результат. Мы сейчас не можем ответить на вопрос, почему жизнь не возникла на Марсе. Безжизненны также две другие планеты земной группы, а в 1980 г. стало известно, что и слабые надежды найти жизнь на спутнике Сатурна — Титане, оказались напрасными, так как парникового эффекта в атмосфере Титана нет, и это один из самых холодных миров в Солнечной системе. Вероятно, обитаемость планет-гигантов вряд ли можно рассматривать серьезно. Таким образом, "земной шовинизм", т.е. поиски жизни в проявлениях, аналогичных земным, оправдан, а жизнь в белково-нуклеинокислотной форме не имеет альтернативы, во всяком случае в Солнечной системе. Диапазон комфортных температур в последней имеется только на Земле. Средние температуры поверхности Марса  $T_n$  (около 210–220 К) уже слишком низки, а температуры выше  $\sim 350$  К опасны из-за коагуляции белков.

Если учесть небольшой парниковый эффект Земли ( $\Delta T$  около 35 К [10]) и задаться серединой комфортного температурного диапазона  $T_n$ , то можно рассчитать среднее расстояние гипотетической обитаемой планеты от центральной звезды (большую полуось орбиты  $a$ ). Для этого необходимо также знать абсолютную болометрическую светимость звезды. Если  $a$  выражено в а.е., энергетическая освещенность  $E$  составит

$$E = E_0/a^2 2,512 \exp (M_{\odot} - M_{\odot}), \quad (5)$$

где  $E_0$  — солнечная постоянная,  $1,38 \cdot 10^6$  эрг/см<sup>2</sup> · с. Для известных  $E$  и  $a$  равновесная температура планеты  $T = (T_n - \Delta T)$  зависит от сферичес-

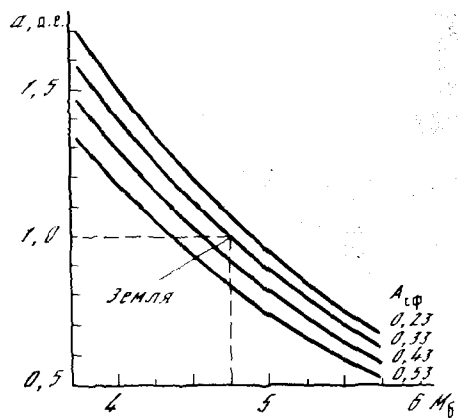


Рис. 2. Расчетное значение большой полуоси орбиты гипотетической планеты с равновесной температурой Земли в зависимости от абсолютной болометрической светимости центральной звезды и сферического альbedo планеты

кого альbedo

$$T_n - \Delta T = [E(1 - A_{сф})/4\sigma]^{1/4} \quad (6)$$

Обозначим через  $A_{\oplus}$  сферическое альbedo Земли, составляющее 0,33. Равновесную температуру примем постоянной и равной  $T_{\oplus} \approx 253$  К. Зависимость  $a$  от альbedo планеты и светимости звезды следует из (2)

$$a = \left[ \frac{1 - A_{сф}}{(1 - A_{\oplus}) 2,512 \exp(M_6 - M_{\odot})} \right]^{1/2} \quad (7)$$

Результаты расчета большой полуоси орбиты планеты для звезд с абсолютной болометрической светимостью от 5,75 до 3,75 и альbedo планеты от 0,23 до 0,53 показаны на рис. 2. Значение  $a$  лежит довольно близко к 1 а.е., изменяясь на -37%, +59% при изменении светимости на  $\pm 1$  зв. величину.

Некоторые сведения о вероятном присутствии в планетной системе тел, экологически пригодных для обитания, получены из модельных экспериментов на ЭВМ, проведенных Доулом [11], а затем повторенных Саганом [12]. Задавалась модель пылевого облака и число ядер конденсации, под действием которых в дальнейшем формировались планеты. Примеры расчетов Доула приведены в [1, с. 21], а на рис. 3 показаны результаты таких расчетов из [12]. Легко видеть, что деление планет на "земную группу" и планеты-гиганты типично, хотя один случай (д) представляет планетную систему с гигантом, втрое массивнее Юпитера, находящимся где-то на орбите Меркурия. Однако учет других факторов, таких, как разрушение планетезималей вблизи предела Роша, а также слишком большие скорости их столкновений делают сомнительной реальность образования такой планеты. Во всех случаях на расстоянии  $a$ , близком к 1 а.е., присутствует планета (одна или несколько) с массой, близкой к массе Земли и с температурным режимом, пригодным для возникновения белково-нуклеинокислотной формы жизни. Разумеется, мы совсем не рассматривали вопрос о составе такой планеты, наличии на ней атмосферы, достаточного количества воды и т.п.

Важный для существования фактор, который не обсуждался в сборнике [1], — это подходящий период вращения планеты. Так, слишком долгая ночь, вероятно, помешала бы развитию растений, использующих фотосинтез. В качестве примера напомним, что длительность суток на Венере составляет 118 земных. Вероятно, это слишком много. С другой стороны, планета может иметь подходящий период вращения, но слишком большой наклон оси к плоскости орбиты, как Уран. Длительность полярной ночи, попеременно охватывающей там целое полушарие, северное или южное, составляет половину орбитального года.

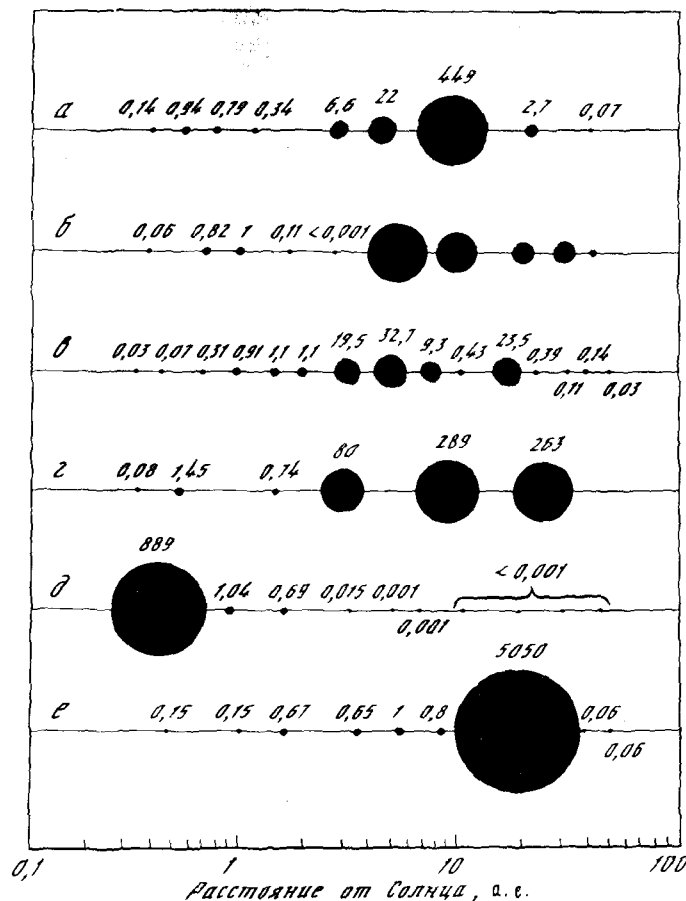


Рис. 3. Варианты планетных систем, полученные в модельном эксперименте на ЭВМ. Через б обозначена Солнечная система. Цифры у кружков показывают массы планет

Вероятно, еще один существенный фактор — гравитация. Планеты группы Земли имеют малые массы. Если, следуя расчетам Доула [11, 12], предположить, что в комфортной зоне оказалась планета с большой массой, физические условия на ней, по-видимому, отличались бы от земных. Так, большая масса привела бы к удержанию легких газов в атмосфере, следовательно, другим был бы ее состав. Повышенное давление у поверхности сместило бы в область высоких температур точку кипения жидкостей. Характер экологических ниш на такой планете также отличался бы от планет малой массы, уже хотя бы потому, что функционирование живых организмов в условиях повышенной силы тяжести потребовало бы больших энергетических затрат на передвижение, более сильных мышц и т.п.

Итак, рассмотренные ограничения оставляют для проблемы SETI только звезды классов G, K1-K2 и, возможно, часть класса F. С другой стороны, модельные эксперименты показывают, что если планетная система возникла, то вероятность образования в ней планеты, пригодной для жизни, дос-

таточно ~~важна~~. Вопрос сводится к тому, насколько распространены во Вселенной планетные системы.

Солнечная система — правило или редкое исключение? Из сказанного выше следует, что пока нет наблюдательных фактов, позволяющих определить множитель  $f_p$ . Имеется много теоретических работ, рассматривающих образование звездно-планетных систем из газопылевых облаков. Существование таких облаков, окружающих звезду, доказано во многих случаях (см. например [13, 14]). Но среди специалистов отсутствует согласие в том, какой именно сценарий использовала природа для формирования планетной системы [15]. Более того, гипотезы образования планет встречаются с весьма серьезными трудностями, что привело в последние годы к поискам какого-то нетривиального механизма, действовавшего при образовании Солнечной системы. Рассматриваются, в частности, гипотезы о возможной близкой вспышке сверхновой в период, когда и Солнце, и протопланетная туманность находились в состоянии, благоприятном для конденсации туманности и формирования планет [16]. Такая гипотеза, требующая одновременного сочетания очень редких событий, делает вероятность образования планетной системы весьма низкой.

К той же проблеме можно подойти и с другой стороны, используя в качестве основания для оценки  $f_p$  имеющееся пока отсутствие любых других форм контакта. Отталкиваясь от этих фактов, некоторые авторы высказывают довольно убедительно мотивируемые мнения, что вероятность присутствия высших разумных форм жизни у какой-либо звезды менее  $10^{-10}$ , т.е. что наша цивилизация не только уникальная, но и единственная в Галактике (а, может быть, и во Вселенной). Если принять эту гипотезу, анализ формулы Дрейка можно вести в обратном направлении, т.е. от низкой величины левой части уравнения к оценке отдельных факторов. Наряду с возможной переоценкой других множителей, причиной низкой распространенности разумной жизни во Вселенной может быть очень малое число самих планетных систем в Галактике, т.е. низкое значение фактора  $f_p$ .

Однако, как показали отзывы на работу [7], многие серьезные специалисты, занимающиеся проблемой SETI, не соглашались с тем, что отсутствие любых форм контакта эквивалентно одиночеству человечества [17, 18]. Заметим, что в той или иной форме негативные аргументы рассматривались во многих работах, например, в работе Сагана и Дрейка [19]. В работе Харта [20] анализируются возможности, которыми технически развитая цивилизация располагает для колонизации Вселенной. Отсутствие признаков такой колонизации, согласно Харту, можно рассматривать как отсутствие самих цивилизаций. По существу, та же идея, но в более современном виде, приводится в одной из последних работ "пессимистического" направления, озаглавленной "Внеземных разумных существ не существует" [21]. Однако аргументацию таких работ трудно признать вполне безукоризненной. Рассмотрим работу [21] именно в качестве такого примера.

Исходя, как и Троицкий в [17], из реальных физических ограничений, исходящих у цивилизаций нашего типа, Типлер [21] подчеркивает, что основное требование, предъявляемое обществом к исследованию и колонизации космоса, — получение максимума информации при минимуме расходов. Подобно Кардашеву [22], Типлер утверждает, что цивилизация в своем развитии неизбежно должна колонизировать космос. Однако имеются две существенные трудности. Первая — длительность полета к звездам, на что ракетам, даже будущим (на химическом топливе) потребуется  $10^4 - 10^5$  лет и что исключает возможность пилотируемого полета.

Вторая — огромная стоимость экспедиции и высокая вероятность ее отрицательного результата (нет планетной системы; нет подходящей планеты; нет жизни). Обе проблемы снимаются, утверждает автор, с помощью "машины фон Неймана", идея которой была предложена полтора десятилетия назад. Это высокоинтеллектуальный робот, способный выполнить всевозможные работы, а также наделенный способностью самовоспроизводства (и саморемонта). Робот может перенести весьма длительное космическое путешествие на специально спроектированной ракете. Сегодняшняя ракетная техника, отмечает автор, уже приближается к требуемым характеристикам. После достижения цели полета из имеющегося на месте материала робот создает 3—4 таких же устройства с ракетами и направляет их к следующим звездам и т.д. Задача сводится, таким образом, к созданию нескольких первых весьма сложных машин Неймана (к чему современная вычислительная техника не готова). Расходы на отправку первой (и единственной) экспедиции, по оценке автора, будут скромными, а освоение Галактики обойдется дешевле освоения Луны. Такие затраты не вызовут истощения ресурсов планеты. Далее колонизация Галактики может идти без участия человека, причем на освоение всей Галактики потребуется около 300 млн лет (по Шкловскому — около 100 млн лет).

Исходя из времени существования Земли и эволюции жизни от ее возникновения до начала освоения космоса, Типлер считает, что на подобную колонизацию уходит  $(4,6 + 0,3)$  млрд лет от возникновения планетной системы. Далее следует важный вывод: так как  $2/3$  звезд Галактики (около  $10^{11}$  звезд) старше Солнца, множество цивилизаций уже проходили этот путь, а подобный процесс должен был происходить много раз и охватить все планетные системы, в том числе Солнечную. Поскольку ничего похожего нет и никаких автоматов такого рода вокруг нас мы не видим, значит, подобная колонизация не осуществлялась. Не осуществлялась потому, что других цивилизаций нет. Следовательно, произведение всех сомножителей в формуле Дрейка должно быть  $< 10^{-10}$ , иными словами, земная цивилизация — единственная в Галактике, а может быть и во Вселенной.

Вероятно, аргументация Типлера во многом является дискуссионной, например, действительно ли нужна колонизация всей Галактики, не ограничится ли цивилизация гораздо меньшими объемами? Аргументация [21] типична для статей, в которых выводы о безжизненности огромной части Галактики опираются на отсутствие заметных нам проявлений жизнедеятельности высших цивилизаций.

Даже если автор слишком драматизирует ситуацию, переоценка и увеличение полученного значения, например на два порядка, мало меняет дело — цивилизации будут разделены расстояниями во много тысяч парсек, т.е. их очень мало. Какой же из множителей в формуле Дрейка может иметь столь малое значение? Многие авторы полагают, что однажды возникшая жизнь достигает разумных форм и технологической стадии и что это лишь вопрос времени. Тогда очень низкое значение могут иметь лишь два множителя, определяющие вероятность возникновения жизни на планете  $f_L$  и вероятность образования планетной системы  $f_p$ . Выбрать между  $f_L$  и  $f_p$  трудно. Хотя жизнь возникла на Земле очень рано, в течение первого миллиарда лет, это не может быть доказательством закономерности ее возникновения. Не исключено, что малы оба фактора. Но положение не безнадежно. Есть основания полагать, что в течение 80—90-х годов удастся определить  $f_p$  для ближайших звезд из наблюдений. К программе наблюдения мы теперь и перейдем.

**Перспективы близкого будущего.** Проблема поиска планетных систем слишком сложна, чтобы ее можно было решить силами небольших групп исследователей. С целью организации таких работ в СССР при Научном совете по проблеме "Радиоастрономия" создана рабочая группа "Проблема поиска внесолнечных планет", возглавляемая членом-корреспондентом АН СССР В.С. Троицким. В США под эгидой NASA проведено несколько конференций, где также рассматривались перспективные методы поиска.

Наиболее перспективными среди предложенных оптических методов поиска планет признаны:

- астрометрический (небольшие изменения положения звезды вследствие ее обращения вокруг общего с планетой системы барицентра);
- доплеровский (тот же эффект, обнаруживаемый по смещениям спектральных линий);

- фотометрический (регистрация отраженного планетами света);
- радиометрический (регистрация теплового излучения планет);
- затменный (небольшое изменение спектрального состава излучения звезды во время прохождения планеты по ее диску, благодаря эффекту "потемнения к краю", который зависит от длины волны, или небольшое изменение светового потока; затменный метод требует расположения наблюдателя в плоскости орбиты планеты).

Заметим сразу же, что каждый из этих методов лишь на пределе своих возможностей пригоден для исследований хотя бы ближайших звезд. Дело не только в чувствительности аппаратуры, но и в требуемой весьма долговременной стабильности ее характеристик. Представим себе, что с расстояния в несколько парсек наблюдается Солнечная система. Орбитальный период наиболее удобной для обнаружения планеты — Юпитера — 12 лет. Если считать достаточным 3—4 оборота планеты вокруг центрального светила, наблюдениями надо охватить 30—40 лет. Привязка абсолютной чувствительности фотометра должна для затменного метода сохраняться где-то на уровне  $10^{-4}$  от видимой яркости исследуемого светила. По-видимому, за это время сменятся наблюдатели. За меньшее на порядок время можно надеяться выполнить лишь более трудный поиск объектов типа Венеры или Земли, что, собственно, и представляет наибольший интерес. Однако проблема не безнадежна. О'Лири [23] указывает: "Некоторые участники, вначале скептически относившиеся ко всей проблеме, покидали конференцию воодушевленные перспективами..."

Возможности астрометрического метода (на пределе  $10^{-2}$  угл. сек) уже рассматривались. В развитие его в 1976 г. был предложен проект "Орион" — наземный звездный интерферометр, который теоретически способен измерить относительное положение двух соседних звезд с точностью  $10^{-4}$  угл. сек. Существенный изъян проекта "Орион" — его высокая стоимость.

К интерферометрии близка техника спекл-интерферометрии, которая даже в условиях сильных помех от земной атмосферы позволяет разрешить тесные двойные звезды, разделенные углом  $10^{-3}$  угл. сек. Считается, что разрешение можно довести до  $10^{-5}$  угл. сек.

Обсуждается также возможность оснащения специальным многоканальным фотоэлектрическим фотометром 2- и 2,5-метрового телескопа с фокусом 42 м, размещаемого на космическом аппарате "Шаттл". По оценкам, получасовая экспозиция позволит получить разрешение до  $10^{-6}$  угл. сек.

Весьма перспективным считается второе направление — измерение вариаций радиальной скорости звезды, вызываемое обращением звездно-планетной системы вокруг общего барицентра. В качестве лучшего прибора для измерения смещения спектральных линий (а по смещению линий определяются радиальные скорости) О'Лири в обзоре [23] называет интер-

Таблица 2

Возмущения в движении 11 ближайших звезд, которые вызвала бы планета с массой Юпитера на расстоянии 5,2 а.е. и планета с массой Земли на расстоянии, соответствующем температурному режиму Земли (1 а.е.) [23]

Звезда	Масса, $m_{\odot}$	Возмущение, которое вызвала бы планета, подобная Юпитеру		Возмущение, которое вызвала бы планета, подобная Земле	
		Радиальная скорость, м/с	Смещение, $10^{-3}$ угл. сек	Радиальная скорость, м/с	Смещение, $10^{-3}$ угл. сек
Проксима Центавра	0,12	36	32	0,8	0,002
Альфа Центавра А	1,00	13	4	0,1	0,003
Альфа Центавра В	0,81	14	5	0,1	0,003
Летящая Барнарда	0,16	31	17	0,7	0,001
Вольф 359	0,10	40	23	0,9	0,001
Лаланд 21185	0,30	23	7	0,5	0,0003
Сириус А	1,58	10	1	0,1	0,003
Сириус В	0,26	25	7	0,6	0,0003
Льютен 726—8 А	0,11	38	17	0,9	0,001
Льютен 726—8 В	0,12	36	16	0,8	0,001
Росс 154	0,16	31	11	0,7	0,0006

ферометр Майкельсона с высоким разрешением, предложенный П. Конном. Достижимая точность измерений, как указывает создатель прибора, — до 1 м/с, в то время как достигнутая ныне точность составляет несколько сот метров в секунду. Большой проблемой будут, однако, вертикальные движения газа в атмосфере звезды.

Возможности рассмотренных методов хорошо иллюстрирует взятая из [23] табл. 2.

Как видно из таблицы, если вертикальные движения в атмосфере звезды не вызовут непреодолимых помех, измерение радиальных скоростей будет выполнимо для случая планеты, подобной Юпитеру, но останется за пределами возможностей метода для планет типа Земли или Венеры. Астрометрический метод, если его разрешающую способность действительно удастся довести до  $10^{-4}$  угл. сек, обеспечит измерения в обоих случаях. Метод радиальных скоростей, к сожалению, не позволяет найти массу планетных тел. Такую возможность предоставляет только астрометрический метод, который дает сведения о наклоне планетных орбит к линии визирования.

Диапазон угловых перемещений, приведенных в табл. для планеты, подобной Земле, может быть обеспечен измерениями с космического аппарата, о которых шла речь выше. Но в этом случае особенно сложной становится многолетняя программа исследований.

Фотометрический метод, т.е. регистрация света, отраженного планетами, вызывает большие трудности. Отношение  $r$  светимости планет к светимости звезды очень мало. Поэтому приходится принимать все меры, улучшающие отношение сигнал/шум  $F$ . Наиболее перспективными считаются приборы, использующие принцип внезатменного коронографа [1, с. 37].

Один из проектов такого многоканального фотометра был предложен автором в 1976 г. Объектом исследования считается Солнечная система,

наблюдаем с расстояния  $z = 5$  пк в оптическом диапазоне. Для регистрации предлагается использовать инструментальную базу, состоящую из длиннофокусного телескопа (диаметр 2,6 м, эквивалентное фокусное расстояние 100 м) и фотоэлектрического фотометра. Предполагается, что телескоп установлен на борту спутника, чем устраняется рассеянный атмосферой Земли свет центральной звезды. Телескоп считается идеальным в том отношении, что рассеянного света в нем нет. В фотометре

Таблица 3

Планета	$r \cdot 10^9$ , в ед. блеска звезды	$n_{\text{ф}}$ , фотоэлектрон/с
Венера	1,24	7,44
Земля	0,3	1,8
Юпитер	1,5	9

применяются светоприемники, использующие внешний фотоэффект с квантовой эффективностью  $\eta = 0,5$  и весьма широким спектральным диапазоном —  $\Delta\lambda = 380-880$  нм. Принималось, что планеты наблюдаются в квадратуре, — это средний случай, реализуемый, например, если плоскость орбит планет перпендикулярна направлению на наблюдателя. Значения параметра  $r$  и фототока, соответствующего свету от планет,  $n_{\text{ф}}$  даны в табл. 3.

Конечно, регистрация столь слабого света планеты на фоне света звезды была бы бесперспективной. Поэтому в фотометре должен быть установлен экран, поглощающий энергию, приходящуюся на первое и второе кольцо дифракционной картины. Экран должен быть очень маленьким. Например, для третьего кольца (минимум), согласно [24], при  $\lambda = 630$  нм его радиус составит 0,086 мм. Так как площадь приемника нельзя сделать очень малой, она будет перекрывать определенный участок соответствующего кольца. При правильном выборе фокусного расстояния Венера попадает во второе, а Земля — в третье кольцо. Для полосы 500 нм кольца, конечно, будут перекрываться, поэтому наш расчет годится только в качестве самой оптимистической оценки.

Узел светоделителей прибора построен так, что изображение звезды удерживается в центре экрана с помощью фотогида. Таким образом, сам экран также имеет сложную конструкцию (рис. 4). Вокруг него расположено кольцо, образованное срезами 16 световолокон. Каждое из них соединено со своим светоприемником. Последние через соответствующую электронику соединяются со входами гребенчатого фильтра. С тем чтобы исключить неравномерность чувствительности каналов, вся система медленно вращается вокруг изображения звезды, а электрические выходы каналов с той же скоростью смещаются относительно входов гребенчатого фильтра в противоположную сторону, благодаря чему входы фильтра как бы фиксированы в пространстве. (Под "гребенчатым фильтром" здесь понимается многоканальный накопитель с синхронным коммутатором). За время длительной экспозиции неравномерность в чувствительности канала усредняется, а полезный сигнал будет выделен. Вокруг первого кольца приемников расположено еще несколько таких же светоделителей. Таким образом, выходы гребенчатых фильтров дадут пространственное распределение интенсивностей в фокальной плоскости.

Принималось, что диаметр приемной площадки световолокна  $d$  состав-

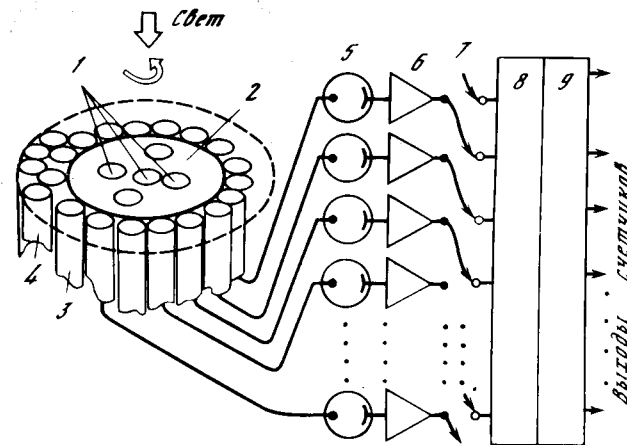


Рис. 4. Схема узла светоделителей в фотометре, предназначенном для поиска планет у ближайших звезд

1 — узел фотогида, 2 — экран, 3 — первое кольцо световолокон, 4 — второе кольцо световолокон, 5 — светоприемники, 6 — электрическая часть, 7 — бесконтактный коммутатор, 8 — гребенчатый фильтр, 9 — счетчики фильтра

ляет 0,1 диаметра экрана  $D$ , т.е. 0,012 мм ( $D = 0,12$  мм). Распределение интенсивности в кольцах максимумов дифракционной картины, согласно [24], подчиняется закону  $(2J_1(x)/x)^2$ . В табл. 4 даны расчетные оценки значения фототока, вызванного фоном,  $n_{\text{ф}}$  и необходимого времени регистрации  $\tau$  для заданных значений отношения сигнал/шум.

Реальное рассеяние света в оптике телескопа неизбежно вызовет увеличение и фона, и экспозиции. Тем не менее обнаружить планеты вроде Юпитера таким способом можно.

По существу, радиометрический метод отличается от фотометрического только диапазоном длин волн — прибор работает в тепловой инфракрасной области, регистрируя собственное тепловое излучение планет [25]. Если длина волны выбрана правее максимума планковской кривой для планеты, то отношение ИК-яркости планета/звезда ( $r_i$ ) значительно повышается, так как, согласно приближению Рэлея-Джинса,  $r_i \sim T_{\text{пл}}/T_{\text{зв}}$ . Для Юпитера  $T_{\text{пл}} = 128$  К и, согласно закону Вина,  $\lambda_{\text{max}} = 22,6$  мкм. Диапазон радиометра должен охватывать интервал от 25 до 50 мкм или более. Кроме того, тепловое излучение исходит от всей поверхности планеты, поэтому отношение

$$r_i = (R_z/R_{\odot})^2 T_z/T_{\odot} = 2 \cdot 10^{-4}, \quad (8)$$

что в  $1,5 \cdot 10^5$  раз больше приведенного выше отношения яркостей в оптическом диапазоне. Метод имеет, однако, три недостатка. Разрешение в ИК-диапазоне гораздо хуже, а интенсивность фона в кольце для рассмотренного выше случая возрастает в отношении  $(\lambda_i/\lambda_{\text{ср}})^2 \geq 10^3$ , из-за чего выигрыш падает с  $10^5$  до  $10^2$  раз. И кроме того, абсолютное количество энергии в ИК-диапазоне мало, а приемники менее совершенны, чем в оптическом диапазоне.

Имеются модификации этого метода. Брейсуэлл [26] предложил использовать космический ИК-интерферометр, нуль диаграммы которого устанавливается на звезде, а прибор вращается вокруг выбранной таким образом оси со скоростью  $\omega$ . Благодаря вращению сигнал от планеты модули-

Таблица 4

	$n_{\text{ф}}$ фотоэлектрон/с	$\tau$	
		отношение сигнал/ шум 1,0	отношение сигнал/ шум $\sqrt{10}$
Земля	$4,16 \cdot 10^3$	37 ч	4,11 ч
Венера	$2,45 \cdot 10^4$	27,3 ч	3,03 ч
Юпитер	32	235 с	26 с

руется по закону  $\sin^2[(\pi/2) \cos \omega t]$ . База интерферометра должна быть 7,7 м для  $\lambda = 40$  мкм. Для регистрации планеты вроде Юпитера за 100 с необходима оптика диаметром 100 см, охлаждаемая жидким гелием.

Затменный метод — уменьшение светового потока от звезды при прохождении по ее диску планеты — впервые был предложен Розенблатом [27]. Эффект можно наблюдать колориметрически, так как благодаря известному явлению "потемнения к краю" диска звезды, при входе планеты на диск наблюдалось бы некоторое "посинение" звезды, затем — "покраснение" и снова "посинение". Кроме чрезвычайной слабости искомым эффектов (абсолютный поток в случае Юпитера уменьшился бы лишь на 1%, или  $0,025$  зв. величины), необходимо, чтобы плоскость орбит планетной системы проходила через наблюдателя в пределах угла 3 мин (вероятность  $3 \cdot 10^{-4}$ ). В отличие от астрометрии предсказать повторение прохождения было бы невозможно. Предлагается одновременное наблюдение примерно 300 звезд изо дня в день. Длительность прохождения Юпитера по диску Солнца для внешнего наблюдателя составила бы 30 ч. Среди критических замечаний, касающихся затмненного метода, — наличие помех, вызываемых пятнами и другими видами активности звезд.

Наряду с перечисленными методами встречаются предложения, совмещающие различные возможности. Например, Серковский [28] разрабатывал спектро-поляриметрический прибор для измерения радиальных скоростей с высокой точностью. Кеннайт предложил использовать когерентность света от неразрешенной звезды для разделения света звезды и планеты [29]. Среди фотометрических методов — использование запаздывания света, отраженного от планеты, по отношению к свету вспышки звезды [30]. Имеется предложение использовать край диска Луны в качестве экрана, перекрывающего свет звезды для наблюдения ее планетной системы [31].

**Заключение.** Упомянутые и другие работы рассчитаны на многие годы, так как необходимо, чтобы были охвачены периоды обращения планет вокруг центральной звезды. Поиск планетных систем даже у ближайших звезд — одна из самых сложных задач современной астрономии. И все-таки можно надеяться, что к концу XX в. будет получен результат, положительный или отрицательный. Сам факт существования других планетных систем и вообще выявление закономерности их образования были бы важным практическим результатом астрофизических исследований. Не менее важным (хотя и неприятным) был бы отрицательный ответ. Он означал бы возврат к "катастрофическим" теориям, которые сейчас считаются маловероятными. В любом случае ответ необходим. До тех пор, пока у нас нет других решений проблемы SETI, поиск звездно-планетных систем остается наиболее реальной, хотя и весьма трудоемкой перспективой.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Проблема SETI: (Связь с внеземными цивилизациями). М.: Мир, 1975. 352 с.
2. Van de Kamp P. — Annual Rev. Astron. and Astrophys., 1975, vol. 13, p. 295.
3. Van de Kamp P. — Astron. J., 1975, vol. 80, p. 658.
4. Black D.C., Suffolk G.C.J. — Icarus, 1973, vol. 19, p. 353–357.
5. Barnard's star updated. New notes. — Sky and Telesc., 1979, vol. 57, p. 247.
6. Gatewood G. — Icarus, 1979, vol. 27, p. 1–12.
7. Шкловский И.С. — Вopr. философии, 1976, № 9, с. 80–93.
8. Hoerner S.von. — Naturwissenschaften, 1978, Bd. 65, S. 553.
9. Аллен К.У. Астрофизические величины, М.: Мир, 1977, с. 332–339.
10. Гуди Р., Уолкер Дж. Атмосферы, М.: Мир, 1975.
11. Dole S. — Icarus, 1970, vol. 13, p. 494–508.
12. Сэган К. — В кн.: Солнечная система, М.: Мир, 1978, с. 9–26.
13. Humphreys R.M. — Astrophys. J., 1974, vol. 188, N 1, p. 75–85.
14. Treffers R., Cohen M. — Astrophys. J., 1974, vol. 188, N 3, p. 545–552.
15. Камерон А.Д.У. — В кн.: Солнечная система, М.: Мир, 1978, с. 27–42.
16. Protostars and Planets / Ed. Gehrels T. Tucson, Arizona: The University of Arizona Press, 1978.
17. Троицкий В.С. — В кн.: Проблема поиска внеземных цивилизаций, М.: Наука, 1981, с. 5–28.
18. Кардашев Н.С. — В кн.: Проблема поиска внеземных цивилизаций, М.: Наука, 1981, с. 29–44.
19. Sagan C., Drake F. — Sci. Amer., 1975, vol. 232, N 5, p. 80–89.
20. Hart M.H. — Quart. Royal Astron. Soc., 1975, vol. 16, N 2, p. 128–135.
21. Tipler F.J. — Physics today, 1981, vol. 9, p. 70–71.
22. Каплан С.А., Кардашев Н.С. — В кн.: Проблемы поиска внеземных цивилизаций, М.: Наука, 1981, с. 45–55.
23. O'Leary B. — Sky and Telesc., 1980, vol. 60, N 2, p. 111–113.
24. Борн М., Вольф Э. — Основы оптики, М.: Наука, 1973.
25. Мороз В.И. — В кн.: Проблема поиска внеземных цивилизаций, М.: Наука, 1981, с. 171–172.
26. Bracewell R.N. — Nature, 1978, vol. 274, N 5673, p. 780–781.
27. Rosenblatt F. — Icarus, 1971, vol. 14, p. 71–93.
28. Serkowski K. — Icarus, 1976, vol. 27, p. 13–24.
29. Ken Knight C.E. — Icarus, 1977, vol. 30, p. 422–423.
30. Argyle E. — Icarus, 1974, vol. 21, p. 199–201.
31. Elliot J.L. — Icarus, 1978, vol. 35, p. 156–164.

УДК 52 (03); 52 (07); 52 (02); 52 (05); 52:378

Ю.В. Александров, В.А. Захожай

## СУЩЕСТВОВАНИЕ ПЛАНЕТНЫХ СИСТЕМ В ГАЛАКТИКЕ И ПРОБЛЕМЫ ИХ ПОИСКА

Идея о существовании планет у других звезд сформировалась в ходе утверждения гелиоцентризма и развития представлений о планетах Солнечной системы. Но длительное время подход к этому вопросу был чисто умозрительным. Сейчас положение существенно изменяется. Прогресс в технике астрономических наблюдений позволил предложить целый ряд перспективных методов для поиска внесолнечных планетных систем. Сама же задача обнаружения и исследования таких систем выдвигается как одна из актуальнейших задач современной астрономии.

Проблема существования планет во Вселенной включает следующие основные вопросы.

1. Космогония планетных систем.
2. Оценки распространенности планетных систем.
3. Методы и программы поиска планетных систем.

#### 4. Интерпретация результатов наблюдений.

Настоящий доклад посвящен методам и основным результатам поиска планетных систем. Для полноты изложения мы остановимся и на первых двух вопросах, но лишь в той мере, в которой это нужно для нашей основной темы.

Кроме работ, посвященных отдельным частным вопросам [1–4 и др.], имеются обзорные работы, раскрывающие с той или иной полнотой данную проблему в целом [5–9].

Для обсуждаемой проблемы немаловажное значение имеет четкое определение основного объекта, о котором будет идти речь, — планеты. Такое определение может быть дано на основе выделения диапазона масс, которыми могут обладать планетные тела, и вытекающих отсюда основных физических свойств планет. Авторами было предложено [10] следующее определение: планеты — это космические тела с массами в пределах  $10^{23}$  —  $10^{31}$  г, содержащие вещество в конденсированном состоянии и эволюционирующие вследствие гравитационной дифференциации вещества. Системы, содержащие такие тела, и будем называть планетными.

Как уже отмечалось выше, проблема космогонии планетных систем не является предметом специального рассмотрения в настоящей работе. Заметим лишь, что современное понимание проблемы происхождения планет (изложенное, например, в [11, 12]), позволяет объяснить образование их не только у одиночных звезд, но и в кратных звездных системах. Возможность объяснения скачка скорости вращения звезд спектрального класса F5 уносом углового момента звездного ветра [13], результаты общего рассмотрения эволюции протозвездных образований [14, 15] и численное моделирование этой эволюции [16] делают допустимым предположение, что образование планет не зависит существенным образом от спектрального класса и массы звезд. Перечисленные факторы дали возможность Холфельду и Терциану [17] оценить число планетных систем для двойных звезд, а авторам доклада этот результат обобщить на звезды любой кратности [18]. Полученные оценки вероятности существования планетных систем у звезд Галактики  $P_{PS} \approx 0,20-0,25$ , а для ближайших звезд  $P_{NPS} = 0,24 \pm 0,02$ , что соответствует  $\sim 130$  планетным системам, находящимся на расстоянии ближе 10 пк при количестве звезд в этом регионе  $\sim 530$  [19–21].

**Методы и проблемы поиска планетных систем.** До последнего времени поиск планетных систем даже у ближайших звезд астрофизическими методами считался нереальной задачей. Рост интереса к проблеме существования внесолнечных планет и широкое привлечение специалистов различных специальностей, создание аппаратуры с высоким пространственным разрешением и большой чувствительностью в различных областях спектра позволили выдвинуть целый ряд методических и аппаратурных предложений по решению этой задачи.

Задачу поиска планетных систем можно расчленить на две: обнаружение сформировавшихся планетных систем и обнаружение протопланетных образований.

**Методы поиска сформировавшихся планетных систем.** Как правило, все методы поиска планетных систем связаны с достижением предельной чувствительности приборов. Естественно поэтому, что единичное обнаружение полезного "сигнала" не может служить надежной гарантией наличия у звезды планетной системы. Это видно на примере анализа собственного и орбитального движения звезд, когда отмечались колебания в их траекториях, но не всегда удавалось гарантировать реальность этих колебаний и однозначно интерпретировать их как результат динамичес-

кого влияния невидимого компонента. Тем не менее подобные исследования могут рассчитывать на успех при комплексном наблюдении одновременно несколькими методами.

Все методы, предложенные на сегодняшний день, можно разделить на две группы: методы непосредственного обнаружения и методы косвенного обнаружения.

1. К первой группе относятся в первую очередь методы, позволяющие обнаружить поток от планеты, находящейся вблизи звезды. Оценим разность звездных величин между планетой (например, с альбедо  $A = 0,4$ ; радиусом  $R_{пл}/R_* = 0,1$ ) и звездой. Она колеблется в видимом диапазоне в пределах  $\Delta m_v \approx (19 \div 24)^m$  (в зависимости от расстояния между планетой и звездой, которое меняется в пределах  $a = 1-10$  а.е.). Поскольку в настоящее время фотографируют объекты примерно до  $24^m$  [22], то можно говорить о возможности обнаружения планет-гигантов у звезд до  $m_v \approx (5-6)^m$ . Проблема состоит в выделении сигнала от планеты на фоне звезды.

Сделаем аналогичную оценку для ИК-диапазона. Считая излучение звезды чернотельным с эффективной температурой  $T_{эф} = 6000$  К, можно показать, что плотность потока квантов от нее в ИК-диапазоне на длинах волн  $\lambda = 10-30$  мкм составит 1,7 квант/(см<sup>2</sup>·с) (при  $\Delta\lambda = 2$  мкм). В диапазоне, где эффективная температура планет может находиться в пределах  $T_{эф} = 100-300$  К, при отношении радиусов  $R_{пл}/R_* = 0,01-0,1$  отношение потоков планета/звезда составляет  $\sim 10^{-3} \div 10^{-7}$ , что соответствует  $\Delta m_v \approx (7-17)^m$ , это на много порядков больше этого же отношения в видимом диапазоне. При экранировании звезды плотность потока от планеты составит соответственно  $\sim 10^{-4}-1$  квант/(см<sup>2</sup>·с), следовательно, за время детектирования  $\sim 10^3$  с можно добиться отношения сигнал/шум  $\sim 10$ , что позволит в принципе зафиксировать планету 4-метровым ИК-телескопом.

Наблюдения с Земли все же сталкиваются с непреодолимыми трудностями, связанными с наличием турбулентной атмосферы. Размытие изображения (качество изображения при наблюдении через атмосферу в лучшем случае  $\sim 1-2''$ ), мерцания, вызванные турбулентной атмосферой, ее тепловой шум, сказывающийся на ИК-наблюдениях, — все это сводит на нет возможности наземных наблюдений.

Реализация методов непосредственного обнаружения может быть осуществлена с использованием космического телескопа [23]. В одном из методов Эллиот предлагает [24] осуществить детектирование потока от планеты (в видимом диапазоне) при экранировании звезды. В качестве экрана предлагается использовать Луну.

При наблюдении космическим телескопом сигнал от планеты будет наблюдаться на фоне дифракционной картины, создаваемой звездой. Ожидаемое угловое расстояние между планетами и звездой в окрестностях Солнца может быть  $\sim 1-2''$ . Следовательно, сигнал от планеты будет находиться в районе 10–20 дифракционного кольца для 3-метрового телескопа. Принцип пространственной фильтрации сигнала от планеты, замытого дифракционной картиной звезды, предложили использовать Бонз, Джосс и Лаейри [25]. Идея метода заимствована из принципа работы коронографа Лию и состоит в использовании двух масок: одной в фокальной плоскости, другой в перифокусированной плоскости изображения зрачка. Первая маска обеспечивает устранение центрального максимума и нескольких первых дифракционных колец, вторая — апертурная маска, служит для устранения влияния тех частей апертуры, которые образуют дифракционную картину, неотфильтрованную первой маской. Для надеж-

ного отождествления сигнала от планеты в плоскости изображения телескопа рекомендуется несколько покачивать вокруг его оптической оси, сохраняя направление на звезду. При применении фотонно-пересчетного телевизионного датчика и машинного интегрирования ожидается большая чувствительность предлагаемого метода (предполагаемое время наблюдения  $\sim 1$  ч).

Предлагается еще один метод, связанный с использованием космической техники, — это космический инфракрасный вращающийся интерферометр Брэйсуэлла с базой  $\sim 10$  м [26, 27]. Изменяя базу интерферометра, можно расположить интерференционный ноль на звезде, а интерференционный максимум совместить с сигналом от планеты. Если ось вращения интерферометра совпадает с направлением на звезду, то только сигнал от планеты будет промодулирован частотой вращения. Анализ показывает, что ожидаемая модуляция позволит надежно обнаружить изменяющийся сигнал от планеты на неподвижной картине звезды. Ввиду возможного влияния фонового зодиакального света на ИК-интерферометр лучше его вывести из плоскости эклиптики.

Условие надежного выделения полезного сигнала на фоне шумов приводит во всех рассматриваемых методах к большим временам накопления сигнала. Это требует высокоточной стабилизации космического телескопа в течение длительного времени. При значительном энергетическом выигрыше детектирования ИК-интерферометра Брэйсуэлла следует иметь в виду трудности, связанные с отысканием необходимой базы интерферометра, когда планета находилась бы в максимуме интерференционной картины — заранее расстояние планеты от звезды предугадать нельзя. Следовательно, приведенные Брэйсуэллом времена накопления сигнала от планеты необходимо увеличить.

2. Группу методов косвенного обнаружения планет образуют комплексные исследования планетных систем, наблюдаемых с ребра, т.е. случай, когда планеты периодически проходят перед звездой. Вероятность такого события за 5 мин наблюдений, как было показано Розенблатом, — одно покрытие на 3000 звезд с планетными системами, видимыми с ребра [28]. Поскольку число планетных систем, видимых с ребра, также мало (одна планетная система из 100–200), то вероятность обнаружения планеты при единичном наблюдении весьма мала. Однако за общее время наблюдений в указанном режиме  $\sim 10^3$  сут эта вероятность будет уже близка к 1.

Можно рассчитывать на повышение достоверности наблюдений планетных систем, видимых с ребра, при комплексном исследовании несколькими методами. Проекция планеты на диск звезды должна вызвать:

- 1) уменьшение блеска звезды;
- 2) изменение показателя цвета звезды;
- 3) изменение пространственного спектра звезды.

Амплитуда уменьшения блеска звезды  $\Delta m_v$  при прохождении планеты по диску звезды пропорциональна отношению квадратов диаметров планета/звезда. Для систем типа Юпитер/Солнце она достигает  $\sim 0,01m$ . Точная корреляционная фотометрия, разработанная Эдвардсом, Харстом и Кристи [29], предусматривает при использовании двух телескопов, поэтому применение ее к поиску планет в некоторых случаях может оказаться эффективным.

Контроль показателя цвета звезд лежит в основе метода, предложенного Розенблатом [28], который основан на различной степени потемнения к краю у звезд в синих и красных лучах. Поэтому прохождение планеты по диску звезды вызовет характерное изменение в цвете, а именно: при пересечении лимба — в синюю сторону, с продвижением к центру — в крас-

ную, а дальнейшее передвижение к лимбу приводит к новому уменьшению показателя цвета звезды. Для экваториального прохождения планеты изменение показателя цвета может достигнуть 0,7%.

Изменения в пространственном спектре звезды, вызванное прохождением планеты по ее диску, исследовано в модельных экспериментах В.А. Захояна [2, 30]. Обнаружение этих изменений сталкивается с большими трудностями, поскольку для этого необходимы телескопы, разрешающие диаметры звезд с линейными размерами порядка диаметра Солнца. В настоящее время метод спекл-интерферометрии позволяет разрешать лишь ближайшие сверхгиганты. Поэтому следует надеяться на применение этого метода в будущем с безизбыточными интерферометрами, база которых  $\geq 10^2$  м.

К методам косвенного обнаружения планет относится динамический метод, который предусматривает измерение параметров собственного (или орбитального) движения звезд в пространстве и выявление отклонений, ответственных за движение вокруг барицентра. Динамический метод может состоять как в измерении движения звезд в картинной плоскости, так и в измерении движения звезд по лучу зрения.

Точность определения амплитуды колебания звезды вокруг барицентра в картинной плоскости классическим способом  $\sim 0,01''$  [31]. Точность, приводимая Ван-де-Кампом,  $\sim 0,001''$  [32] в настоящее время оспаривается рядом специалистов. В частности, Гейтвуд [33] считает ее завышенной на порядок из-за наличия систематических ошибок, неизбежно возникающих за большие промежутки времени наблюдения, которые характерны для рядов положений звезд Ван-де-Кампа [34, 35].

Точность можно повысить, увеличив точность единичного измерения, применяя новую технику и новые методы наблюдения. Так, Гейтвуд предлагает использовать длиннофокусные астрографы нового поколения: с большими апертурами ( $\sim 1,5$  м) и большими фокусными расстояниями ( $\sim 10^3$  м) [33]. Мак-Алистер предлагает применить для этих целей метод спекл-интерферометрии [36]. В качестве опорных источников (в методе спекл-интерферометрии) для одиночных звезд предлагается использовать звезды фона, а для двойных — второй компонент, находящийся в области изопланатичности телескопа, т.е. в области, для которой характер атмосферных искажений, претерпеваемых световой волной, одинаков для всех ее точек. Ожидается, что применение метода спекл-интерферометрии позволит повысить точность единичного измерения более чем на порядок.

Прецизионные измерения лучевых скоростей предполагают фиксацию малых изменений лучевых скоростей ( $\sim 10$  м/с), вызванных движением центра масс системы “звезда + планета”. К. Серковский [37] предложил метод, который предполагает проводить измерения изменений лучевых скоростей с точностью  $\sim \pm 5$  м/с. Большая точность измерения доплеровских смещений может быть достигнута калибровкой длин волн звездного спектра путем поляризации света звезды в поляриметре. Поляриметр может быть выполнен таким образом, что плоскость поляризации искусственно поляризованного света от звезды быстро изменяется с длиной волны. Поэтому указанная выше точность измерения лучевой скорости достигается прецизионным измерением позиционного угла плоскости поляризации, что и дает калибровку по длинам волн для каждого элемента спектра.

Комплексное исследование методами косвенного обнаружения должно предусматривать создание с помощью поляриметра, описанного в [37], каталога звезд с малыми ( $\sim 10$  м/с) вариациями лучевых скоростей. Эти звезды могли бы явиться кандидатами на поиск у них планетных систем



Звезды, возможно обладающие планетами

Звезды	$\alpha_{1950}$	$\delta_{1950}$	$m_v$
Барнарда	$17^h 55^m,4$	$+4^\circ 33'$	$9^m,54$
61 Лебедь	$21^h 04^m,7$	$+38^\circ 30'$	$5^m,22$
с Эридан	$3^h 30^m,6$	$-9^\circ 38'$	$3^m,73$
BD + 43° 4305 A	$22^h 44^m,7$	$+44^\circ 05'$	$10^m,2$
Проксима Центавра (?)	$14^h 26^m,3$	$-62^\circ 28'$	$10^m,7$
Крюгера 60 A (?)	$22^h 26^m,2$	$+57^\circ 27'$	$9^m,85$
70 Змееносца (?)	$18^h 02^m,9$	$+2^\circ 31'$	$4^m,03$

другими перечисленными методами поиска систем, видимых с ребра. В случае наличия у звезды одной планеты момент ее прохождения по диску звезды может быть в принципе определен из анализа вариаций кривой лучевой скорости.

Как видно из перечисленных методов косвенного обнаружения, динамический метод является наиболее универсальным и перспективным, имея в виду его модификацию на новой технической основе (см., например [1, 37, 38] и др.).

Американские специалисты предполагают [39] реализовать динамический метод: 1) созданием специального наземного звездного оптического интерферометра, теоретическая точность которого  $0,0001''$  — проект "Орион" [38]; 2) с помощью спекл-интерферометрии, где ожидается получение точности  $0,00001''$  (современные методы дают  $\sim 0,001''$ ); 3) созданием астрономического орбитального телескопа, с помощью которого предполагается измерение угловых расстояний с точностью до  $0,000001''$  за 30 мин наблюдений. К сожалению, из [39] нельзя понять, за счет чего космический телескоп обеспечивает приведенную высокую точность в определении угловых расстояний. Точность в проекте "Орион" определяется предполагаемой базой интерферометра (55 м). Приведенная точность спекл-интерферометрии может быть достигнута в том случае, если будет решена проблема контроля измерения больших фокусных расстояний с относительной точностью  $\sim 10^{-5}$  (в настоящее время эта точность  $\sim 10^{-3}$ ).

Кроме упоминаемого поляриметрического измерителя лучевых скоростей [37], предполагается использовать высокодисперсионный интерферометр Майкельсона, предложенный Конном, ожидаемая точность которого  $\sim 1$  м/с. Такую высокую точность предполагается обеспечить за счет применения высококачественных световодов: использование волоконной оптики должно устранить основной источник ошибок в измерениях лучевой скорости — неоднородность изображения наблюдаемой звезды [39].

К динамическому методу поиска внесолнечных планет можно отнести еще один. Он относится к поиску планет у звезд, находящихся на конечных стадиях эволюции, в частности у пульсаров. Если окажется, что планетная система не разрушится полностью при взрыве сверхновой, то ее можно будет обнаружить по изменению периода пульсаций пульсара [40]. Очевидно существование колебаний в периоде пульсаций пульсара за счет его орбитального движения вокруг барицентра системы. Даже современная

Sp	$\pi$	P, годы	$m_{сп}$	Примечания
M5V	0,548''	26	0,0011—0,0012	2—3 планеты (существование)
		12	0,0007—0,0008	3-й планеты следует уточнить)
		7 (?)	0,0006 (?)	
K5Ve	0,296''	6	0,004	Планеты
		12	?	
K2Ve	0,302''	25	0,006 ÷ 0,05	Планета или субзвезда
dM5e	0,195''	29	0,009 ÷ 0,023	Планета или субзвезда
dM5e	0,761''	2,5	0,0018	Планета
dM4	0,252''	16	0,009 ÷ 0,025	
K0Ve	0,195''	17—18	0,008 ÷ 0,012	Планета или субзвезда

точность измерения частоты пульсара позволяет искать планеты с массой порядка земной и меньше в сантиметровом диапазоне волн, где пульсации проявляются отчетливее всего.

**Проблема поиска протопланетных образований.** Протопланетные облака имеют характерные размеры и распределения плотности и температуры. В основном протопланетные образования излучают в ИК-диапазоне. Исследование спектра таких объектов несет информацию о планетных системах на самых ранних стадиях их существования. Процесс формирования планетных систем может быть наблюдаем и в радиодиапазоне, причем следует ожидать корреляции с ИК-наблюдениями. Источники для ИК- и радионаблюдений надо выбирать в областях образования звезд, где ожидается наличие протяженных оболочек, которые, вероятно, нельзя исключить из числа кандидатов в протопланетные образования.

Обнаружение вокруг звезды диска, поляризующего свет, может также дать информацию не только о наличии планетной системы, но что обратил внимание В.Г. Фесенков [4], но и о ее возрасте.

Следует обратить внимание на наличие мазерных источников в оболочках молодых звезд, которые могут возникать, как предполагает И.С. Шкловский [41], на самых ранних стадиях образования звезд и планет.

**Выбор кандидатов для наблюдений.** Выше уже рассматривался пример выбора кандидатов-звезд, у которых могли бы наблюдаться планетные системы с ребра. К этому необходимо еще добавить, что в первую очередь необходимо искать планетные системы у самых близких звезд, для этого необходимо воспользоваться любым из каталогов звезд, находящихся ближе 10—25 пк [20, 42, 43]. У звезд кроме планет еще можно обнаружить и субзвезды, изучение которых является также важной астрофизической задачей. Двойные звезды следует выбирать, исходя из результатов Хеппелхаймера [12], которым получены соответствующие выражения для размеров зон, где могли бы образоваться планеты, в зависимости от масс вторичных компонентов.

**Результаты поиска планетных систем.** Самые существенные результаты были получены из анализа собственных и орбитальных движений ближайших звезд, где исследовались динамические влияния невидимых компонентов: А.Н. Дейч и О.Н. Орлова [44, 45], Ван-де-Камп [46], Липпинкотт [47]. В основном эти невидимые спутники — звезды и небольшая группа — субзвезды. И лишь у двух систем массы невидимых компонентов

падают в интервал планетных масс: звезда Барнарда и компонент А двойной 61 Лебеда. В системах  $\epsilon$  Эридана и BD + 43° 4305 массы компонентов определены неуверенно, а именно: это могут быть как планеты, так и субзвезды, поскольку их массы  $\sim 0,01 M_{\odot}$ . В более ранних работах приводились еще три объекта в приемлемом интервале масс: Проксима Центавра, Крюгер 60 А, 70 Змееносца [48]. Хотя в настоящее время считается сомнительным существование у них планет, все же для полноты они внесены в список кандидатов (см. таблицу). В таблице приведены следующие данные из работ [20, 44–48]: координаты  $\alpha_{1950}$  и  $\delta_{1950}$ , видимая величина  $m_v$ , спектр Sp, орбитальный период невидимого компонента P, параллакс  $\pi$ , масса спутника в солнечных единицах  $m_{сп}$ .

Естественно, о достоверности открытия приведенных невидимых спутников можно спорить, и тем больше, чем меньше их масса. Все же методика их поиска, опыт обработки полученного наблюдательного материала, сам факт заподозренности объектов, находящихся близко к Солнцу, имеют большое значение для проблемы существования и поиска планет у звезд Галактики.

В 1979 г. было сделано сообщение Демянски и Прожински [40] об изменении (увеличении и уменьшении) периода пульсации пульсара PSR 0329 + 54 с периодом в три года. Если предположить, что вариации периода пульсации связаны с движением вокруг барицентра системы, то можно вычислить массу невидимого спутника. Она оказалась равной  $\sim 10^{-6} M_{\odot}$ . Авторы [40] отметили также еще 15 пульсаров подобной природы. Предварительные оценки показали, что вариации можно связать с движением планет массой  $\sim 3 \cdot 10^{-4} M_{\odot}$  и с периодом  $\sim 50$  лет.

Как уже отмечалось выше, наблюдение ранней стадии существования планетных систем имеет большое космогоническое значение. Наблюдения, выполненные в разных диапазонах электромагнитных волн, позволили выделить по крайней мере четыре кандидата, которые могли бы быть носителями информации о ранних стадиях образования планетных систем, это:  $\epsilon$  Возничего, RU Волка, R Единорога и ИК-звезда Лебеда ( $\alpha_{1965} = 20^h 45^m 2$ ;  $\delta_{1965} = +39^{\circ} 59'$ ) [49–55]. Этот список кандидатов нельзя считать полным. Кроме этих объектов, еще многие звезды имеют пылевые оболочки. Анализ, проведенный Су-Шу Хуангом [8], позволяет заключить, что не только перечисленные объекты могут быть протопланетными образованиями. Необходимо провести специальные дополнительные исследования, которые могли бы однозначно дать ответ на вопрос: какие именно из подозреваемых объектов являются протопланетными образованиями. С этой точки зрения необходим анализ звезд, имеющих оболочки и диски.

Вращающиеся оболочки с размерами  $\sim 10^{16}$  см были обнаружены у 12 OB-звезд — галактических радиоисточников, излучающих в линиях  $H_2O$  (Гензел и др. [56]). Интерпретация радиоспектра объектов допускает существование в оболочках этих звезд плотных вкраплений вещества, которые могли бы быть планетезималиями, движущимися со скоростями  $\sim 10$  км/с. Все же большие температуры и плотности, необходимые для возбуждения линии  $H_2O$  и наличие высокоскоростных деталей ( $\sim 15$ –250 км/с) на больших расстояниях от центра ( $\geq 10^{16}$  см) скорее говорят о разлете вещества оболочек звезд, чем об орбитальном движении протозвезд или планетезималей. Нужны дополнительные исследования, чтобы установить истинную природу этих образований.

Нельзя исключать того, что некоторые стадии протопланетного облака внешне могут быть похожи на уже известные астрономические объекты. Так, например, Н.Е. Курочкин считает, что следует обратить внимание на некоторые объекты, которые относят к планетарным туманностям и ко-

торые могут быть на самом деле протопланетными образованиями [3].

Представления современной космогонии об одновременном образовании звезды и протопланетного облака делают целесообразным наблюдения объектов, подозреваемых в принадлежности к стадии протозвезд, поскольку они могут иметь отношение и к происхождению планет. Такими объектами могут быть: V380 Ориона, Lk H $\alpha$  101, R Южной Короны, Z Большого Пса, FU Ориона, V1057 Лебеда [57], а также молодые звезды типа YY Ориона [58].

Кроме перечисленных объектов-кандидатов, в обзоре Папротного [9] упоминаются еще объекты Хербига—Аро и VM Ориона. Действительно, объекты Хербига—Аро должны представлять интерес для затрагиваемой проблемы, в частности для эволюции протопланетных образований и изучения их самых ранних этапов, не исключено, что некоторые из них таковыми и являются. Затменную двойную VM Ориона, вероятно, следует исключить из списка кандидатов, поскольку это сравнительно тесная пара (период ее  $P \approx 6,5$  сут [59]), и, следовательно, зона неограниченного роста планетезималей у такой системы должна практически отсутствовать. Требуется дальнейшего космогонического анализа шесть сверхгигантов спектрального класса G, которые обнаружили Хамфрис, Стрекер и Ней [60]. Эти объекты окружены оболочками и излучают в ИК-диапазоне с максимумом излучения на длине волны  $\lambda = 10$  мкм.

Как видно из настоящего обзора, проблема обнаружения внесолнечных планетных систем может и должна рассматриваться сейчас как реальная и весьма важная задача наблюдательной астрономии. Решение этой проблемы требует, однако, с одной стороны, дальнейшего развития планетной космогонии, а с другой — специально разработанной программы длительных наблюдений, привлечения крупнейших наземных телескопов и космических средств или даже создания специальных инструментов для этой цели.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Буйак В.И. и др. — Космич. исслед., 1978, т. 16, № 5, с. 767–777.
2. Захожай В.А. — Астрометрия и астрофизика, 1979, № 37, с. 85–88.
3. Курочкин Н.Е. — Астрон. циркуляр, 1878, № 102, с. 6–8.
4. Фесенко В.Г. — Природа, 1961, № 3, с. 5–8.
5. Голд Т. — В кн.: Проблема SETI: (Связь с неземными цивилизациями). М.: Мир, 1975, с. 15–25.
6. Мороз В.И. — В кн.: Проблема поиска внеземных цивилизаций. М.: Наука, 1981, с. 171–172.
7. Greenstein J.L., Black D. — NASA, SP-419, The search for extraterrestrial intelligence (SETI), 1977, p. 53–60.
8. Huang Su-Shu. — Icarus, 1973, vol. 18, p. 339–376.
9. Paprotny Z. — Post. astronaut., 1977, vol. 10, N 1, s. 41–65.
10. Александров Ю.В., Захожай В.А. — Астрон. вестн., 1980, т. 14, № 3, с. 129–132.
11. Уорд У.Р. — В кн.: На переднем крае астрофизики. М.: Мир, 1979, с. 9–48.
12. Heppenheimer T.A. — Icarus, 1974, vol. 22, p. 436–447.
13. Schatzman E. — Ann. d'Astrophys., 1962, vol. 25, p. 18–29.
14. Fleck Jr. R.C. — Astrophys. J., 1978, vol. 225, p. 198–200.
15. Протозвезды и планеты: Исследование образования звезд и происхождения Солнечной системы. М.: Мир, 1982.
16. Ларсон Р.Б. — В кн.: Происхождение Солнечной системы. М.: Мир, 1976, с. 202–215.
17. Holfeld R.G., Terzian G. — Icarus, 1977, vol. 30, p. 598–600.
18. Александров Ю.В., Захожай В.А. — Астрон. вестн., 1983, т. 17, № 2, с. 82–86.
19. Захожай В.А. — Вестн. ХГУ, 1980, № 204, вып. 15, с. 67–71.
20. Захожай В.А. — Вестн. ХГУ, 1979, № 190, вып. 14, с. 52–77.
21. Захожай В.А. — Астрономия и астрофизика, 1980, № 42, с. 64–69.
22. Shabanov M.F., Korovjakovsky Yu.P. — In: ESO conference / Ed. West R., Heudier J., Geneva, 1978, p. 255–262.
23. The Space Telescope. — NASA, SP-392, 1976.
24. Зак. 626

24. Elliot J. — Icarus, 1978, vol. 35, p. 156–164.
25. Bonneau D., Josse M. — In: Image Process. Techn. Astron. Proc. Conf., Utrecht, 1975 / Dordrecht-Boston, 1975, p. 403–409.
26. Bracewell R.N. — Nature, 1978, vol. 274, p. 780–781.
27. Bracewell R.N., Mac Phic R.H. — Icarus, 1979, vol. 38, p. 136–147.
28. Rosenblatt F.A. — Icarus, 1971, vol. 14, p. 71–93.
29. Edwards P.J., Hurst R.B., Christie G. — Proc. Astron. Soc. Austral., 1975, vol. 2, N 6, p. 349–351.
30. Захожай В.А. — Вестн. ХГУ, 1978, № 176, вып. 13, с. 85–91.
31. Дейч А.Н. — В кн.: Курс астрофизики и звездной астрономии. М.: Наука, 1973, т. 1, с. 258–265.
32. Ван-де-Камп П. — В кн.: Методы астрономии. М.: Мир, 1967, с. 412–453.
33. Gatewood G. — Icarus, 1976, vol. 27, p. 1–12.
34. Van de Kamp P. — Astron. J., 1963, vol. 68, N 7, p. 515–521.
35. Van de Kamp P. — Astron. J., 1969, vol. 74, N 6, p. 751–759.
36. McAlister H.A. — Icarus, 1977, vol. 30, p. 789–792.
37. Serkovski K. — Icarus, 1976, vol. 27, N 1, p. 13–24.
38. Project Orion. — Spaceflight, 1977, vol. 19, N 3, p. 90–92.
39. O'Leary B. — Sky and Telesc., 1980, N 8, p. 111–113.
40. Demianski M., Proszynski M. — Nature, 1979, vol. 282, p. 383–385.
41. Шкловский И.С. — Астрон. циркуляр 1966, № 372, с. 1–7.
42. Gliese W. Catalogue of nearby stars. — Veröffentlich. Astron. Rechen-Institut, Heidelberg, 1969, N 22.
43. Woolley R. et al. Catalogue of stars within twenty five parsecs of the Sun. — Roy. Observ. Ann., 1970, N 5.
44. Дейч А.Н., Орлова О.Н. — Астрон. журн., 1977, т. 54, № 2, ч. 327–339.
45. Дейч А.Н. — Письма в "Астрон. журн", 1978, т. 4, № 2, с. 95–98.
46. Van de Kamp P. — Ann. Rev. Astr. Ap., 1975, vol. 13, p. 295–333.
47. Lippincott S.L. — In: Colloque Astronomique Europeen: O Telescopio Refractor e a Astrometria ao Servico das Estrelas Duplas. Coimbra (Portugal). Oktober 1974 / Pino Torinese. 1977, p. 131–138.
48. Фирсов. Жизнь вне Земли. М.: Мир, 1966.
49. Цесевич П. — В кн.: Заметные переменные звезды. М.: Наука, 1971, с. 209–260.
50. Handberg M.J., Williams I.P. — Astrophys. and Space Sci., 1976, vol. 45, N 2, p. 439–446.
51. Gahn G.F. et al. — Forsk. och framsteg, 1974, N 8, s. 31–35.
52. Gahn G.F. et al. — Astron. Astrophys., 1979, vol. 73, p. 4–6.
53. Нейдбауэр Дж., Лейтон Р. — УФН, 1963, т. 98, № 2, с. 351–368.
54. Johnson H.L., Low F.J., Steimetz D. — Comm. LPL, 1965, vol. 3, N 52–57, p. 95–96.
55. Neugebauer G., Martz D.E., Leighton R.B. — Astrophys. J., 1965, vol. 142, p. 399–401.
56. Genzel R. et al. — Astron. Astrophys., 1978, vol. 66, p. 13–29.
57. Леке Дж. — В кн.: Происхождение Солнечной системы. М.: Мир, 1976, с. 170–186.
58. Засов А.В. — В кн.: Происхождение и эволюция галактик и звезд. М.: Наука, 1976, с. 11–29.
59. Кукаркин Б.В. и др. Общий каталог переменных звезд. Т. II. М.: Наука, 1970, с. 632.
60. Humphreys R.M., Strecker D.W., Ney E.P. — Astrophys. J., 1971, vol. 167, p. L35–40.

УДК 523.73.4

Г.Л. Сучкин

## О ВОЗМОЖНОМ НАПРАВЛЕНИИ ПОИСКА ПЛАНЕТ В СИСТЕМЕ ЗВЕЗДЫ

Сравнительно недавно известный советский астрофизик И.С. Шкловский нарисовал впечатляющую картину развития астрономии [1]. В ней отчетливо проглядывает внутренняя противоречивость этого процесса. Человечество гораздо успешнее познает Вселенную, чем свою собственную планетную систему. Положения не меняют и поразительные успехи космонавтики: они несут информацию о планетах Солнечной системы — таких, какими они предстают на момент наблюдения.

Суть назревающего парадокса в том, что нашему взору открыта вся видимая Вселенная — множество звезд, галактик и иных объектов. В силу постоянства скорости света Вселенная предстает перед нами во временном разрезе, в своем эволюционном развитии. Чем больше однотипных объектов наблюдается нами на разном удалении, тем полнее, детальнее наши знания о их развитии во времени. Отсюда впечатляющие по своим масштабам успехи современной космогонии. Всему этому богатству природы, взывающему к нашему разуму, противопоставит всего лишь одна, только одна доступная нашему сиюминутному наблюдению планетная система — Солнечная. Других подобных внесолнечных планетных систем на Земле просто никто не видел и не знает. Поэтому наши представления о прошлом и будущем развитии Солнечной планетной системы, хотя бы по сравнению с тем, что нам известно о Вселенной, очень ограничены опытом, накопленным всего лишь на интервале жизни небольшого числа человеческих поколений, и обращенным преимущественно в прошлое. А в изучении планет заинтересованы все без исключения науки о Земле, как, впрочем, и вся современная цивилизация. Если бы все звезды, находящиеся от нас на расстоянии, превышающем диаметр нашей Галактики, в это мгновение исчезли, погасли или с ними произошло бы что-то другое, то человечество узнало бы об этом почти через 979 столетий. Зато, если бы что-нибудь произошло с Солнцем, на Земле это стало бы известно через 8,3 мин.  $5,1 \cdot 10^{10}$  мин и 8,3 мин — таковы масштабы, определяющие значимость для человечества событий в удаленной части Вселенной и в нашей собственной планетной системе.

И.С. Шкловский поставил проблему поиска планет около звезд (внесолнечных планет) первой в цепи грядущих фундаментальных проблем, в одном ряду с такой грандиозной проблемой астрофизики, как сингулярность Вселенной.

Ученые уверены в том, что Солнце — это довольно ординарная звезда, относящаяся к спектральному типу G2V [2]. Но они же не в состоянии достаточно убедительно показать, какая часть этих звезд и почему обладает планетами. Является ли Солнечная планетная система исключением (хотя бы среди звезд спектрального типа G2V) или это типичное явление?

Прежде чем рассчитывать получить ответы на поставленные выше и другие многочисленные примыкающие к ним вопросы, следует, как минимум, сначала обнаружить существование внесолнечных планет. Очевидна настоятельная необходимость в новых наблюдениях.

Опубликованные в настоящем сборнике статьи Ю.В. Александрова, В.А. Захожая и Л.В. Ксанфомалити не вселяют уверенности в том, что на классических направлениях астрономии (астрометрия, фотометрия, интерферометрия и др.) обнаружение внесолнечных планет — дело ближайшего будущего. Все без исключения обнадеживающие оценки лежат на пределе возможностей современной наблюдательной техники и, по-видимому, могут быть реализованы лишь к концу XX в. Полезно подробнее остановиться на классических методах, предполагающих тем или иным способом обнаружить смещения звезды относительно барицентра ее звездной системы. Начиная с известных работ Ван-де-Кампа [3] по наблюдению звезды Барнарда, это направление пользуется особой популярностью в проблеме поиска внесолнечных планет. Расчеты П. Джозе [4] околобарицентрических движений Солнца под действием внешних планет в приближении материальных точек показали, что на интервале  $\sim 17$  лет центр масс Солнца может перемещаться относительно барицентра Солнечной планетной системы в диаметральном противоположные положения, отстоящие друг от друга почти на 3,5 солнечных радиуса, т.е. на расстояние порядка 0,016 а.е.

Насколько удалось установить по самым различным источникам, по-видимому, до сих пор никто даже не пытался наблюдать такие значительные перемещения в околобарицентрическом движении нашего собственно светила.

Хотя подобные наблюдения нелегко осуществлять из-за необходимости перехода в инерциальную систему удаленных звезд, в принципе они возможны и актуальны. Дело в том, что аппроксимация Солнца в окрестности барицентра Солнечной системы материальной точкой вполне может оказаться достаточно плохим приближением к действительности, например из-за невзаимных взаимодействий в солнечных магнитных полях или выбросов звездного вещества и электромагнитного поля далеко за пределы Солнечной планетной системы. Поэтому при оценке околобарицентрических движений Солнца необходимо либо учитывать динамику движения солнечного вещества и излучения, что на достигнутом уровне знаний по меньшей мере нелегко сделать, либо решать обратную задачу и оценить реальные околобарицентрические перемещения нашего светила из непосредственных наблюдений. Отсюда видно, что поиск внесолнечных планет сопряжен не только с преодолением наблюдательных трудностей, но и с дальнейшим развитием и уточнением наших представлений о процессах как в недрах звезды, так и на ее поверхности. Естественно, что при этом ограничиваться лишь известными классическими направлениями поиска внесолнечных планет вряд ли целесообразно. В первую очередь следует попытаться обнаружить присутствие планет по собственному излучению самой звезды.

Рассмотрим с этой точки зрения излучение Солнца. В области спектра от 0,3 до 10 мкм испускается 99% всей излучаемой им энергии [5]. Именно этот оптический и инфракрасный диапазоны дают главный вклад в значение солнечной постоянной  $1373 \pm 20 \text{ Вт/м}^2$ . Обычно ее рассматривают как излучение спокойного Солнца, поскольку вариации солнечной постоянной невелики и составляют около 3%. На излучение спокойного Солнца накладываются характерные квазипериодические излучения, обусловленные в основном участками спектра, примыкающими с обеих сторон к оптическому и инфракрасному диапазонам.

Остановимся подробнее на циклической солнечной активности со средним периодом в 11 лет (11-летний цикл), если отправляться от средних значений чисел Вольфа, характеризующих пятнообразовательную активность Солнца. За этот период магнитные поля меняют знак на противоположный, поэтому 11-летний цикл составляет половину 22-летнего цикла изменения солнечных магнитных полей.

По данным Вальдмайера-Эдди [6] с 1700 по 1975 г. среднее значение периода 11-летнего цикла составляет 11,1 года с разбросом от 8 до 15 лет. Распределение по интервалам периодов сильно отличается от гауссова. Поэтому солнечная циклическая квазипериодична. До самого последнего времени подобная циклическая в излучении других звезд никем не наблюдалась. Это давало основание считать ее специфической особенностью Солнечной системы.

В 1976 г. на семинаре в Боулдере, посвященном солнечному излучению, Д. Лински [7] впервые обнаружил неопубликованные наблюдения О. Уилсона за изменением во времени потока излучения от звезды HD 3214 (карлик спектрального типа K5). Данные этих наблюдений описывали замкнутый цикл типа солнечного с периодом свыше 7 лет. Из них спад от предшествовавшего минимума к максимуму занял около двух лет, спад к следующему минимуму тянулся около 4–5 лет. О. Уилсон не имел свидетелей подобной циклической у звезд более горячих,

чем звезды спектрального класса G0V, и у более холодных, чем звезды класса K5 с сильным излучением в спектральных линиях H, K.

О. Уилсон начал свои наблюдения в 1967 г. Он измерял [9] поток излучения звезды в двух полосах шириной 1 Å, центрированных на линии H и K Ca II и в двух полосах непрерывного спектра шириной в 25 Å, сдвинутых на 250 Å по обе стороны линий H и K. Сопоставление спокойного излучения звезды в сплошном спектре оптического диапазона и звездной активности в линиях H и K Ca II позволило надежно обнаружить циклическую звездную активность типа солнечной. В работе [9] он подробно описал наблюдательную установку и те улучшения, которые были внесены в нее его коллегами. Результаты наблюдений 91 звезды спектральных типов от F5 до M2 вплоть до 1978 г. изложены им в работе [10]. Наблюдения солнцеподобной звездной циклической продолжаются.

Ценность открытия О. Уилсона с точки зрения проблемы поиска внесолнечных планет в том, что оно позволяет выделить из числа всех солнцеподобных звезд наиболее похожие на Солнце по более узкому признаку наличия циклической звездной активности солнечного типа.

Но с открытием О. Уилсона связана одна тонкость, пренебрегать которой ни в коей мере не следует. Для того чтобы убедиться в этом, вполне достаточно поставить вопрос: что такое солнечный цикл, какова его природа и происхождение циклической?

На семинаре в Боулдере, анализируя теорию солнечных вариаций, Д. Гоф заметил (приводится дословно): "Магнитное поле Солнца изменяет направление на противоположное каждые 11 лет. С такой же периодичностью меняются амплитуды и частота таких магнитных явлений, как солнечные пятна и солнечные вспышки. Этот период не соответствует ни одному из естественных характерных времен (имеются в виду характерные времена процессов на Солнце. — *Примеч. авт.*); его происхождение остается тайной" [1].

Ю.И. Витинский разделил [12] все попытки создания физической теории солнечных циклов в первом очень грубом приближении на две группы. К первой относятся многочисленные работы тех авторов, которые допускают, что причины возникновения этого явления тем или иным путем связаны с обратным воздействием планет на Солнце. Ко второй группе относятся работы, в которых допускается, что причина возникновения солнечных циклов связана только с самим Солнцем. Однако обзор работ обеих групп в [12] не позволяет понять, чем обусловлено господствующее положение второй группы. При наличии длительного сосуществования двух крайних точек зрения вряд ли стоит говорить о настоящей постановке задачи создания физической теории солнечной циклической по той причине, что, по-видимому, каждая из них по-своему в определенном круге вопросов дает достаточно удовлетворительные ответы, и эти области мало пересекаются.

Только имея в виду поиск внесолнечных планет, мы можем сказать, что после открытия О. Уилсона эта задача приобретает фундаментальное значение. Вопрос ставится так: в какой мере, например, существование 11-летнего солнечного цикла обусловлено присутствием планетной системы. Он, естественно, адресуется к представителям обеих отмеченных выше групп.

Сравнивая с этой точки зрения результаты работы [12] и часть работы [13], написанную В.П. Козеловым, нельзя не заметить известный прогресс в этом направлении. Во-первых, существование связи между солнечной циклической активностью и динамикой планетной системы, по-видимому, не вызывает особых сомнений. Во-вторых, появились и разрабатываются

более глубокие идеи, объясняющие существование этой связи. К их числу следует отнести гипотезу о специфических свойствах динамического режима Солнечной системы в целом, рассматриваемой как эволюционно зрелая нелинейная система. В-третьих, происходит постепенное сближение точек зрения обеих групп на основе нелинейных представлений о резонансности, синхронизации и других аналогичных явлениях в многочисленных системах.

Взятые вместе все эти особенности, связанные с нелинейным взаимодействием планет с Солнцем, позволили В.П. Козелову обсудить ритмику солнечной активности как проявление определенного этапа эволюции Солнечной системы в целом. Обзор [13] ценен тем, что он дает представление о круге идей, разрабатываемых ныне в проблеме связи вариаций солнечной активности с динамикой планетной системы.

Сопоставление наблюдений О. Уилсона с этими результатами приводит к заключению о возможности возникновения нового направления поиска и исследования внесолнечных планет вблизи удаленных звезд. Действительно, если удастся убедительно показать, что возникновение циклической активности Солнца обусловлено динамикой планетной системы и в отсутствие планет циклическая солнцеподобная активность не возникает, тогда дальнейшие наблюдения за солнцеподобными звездами по методу О. Уилсона дают непосредственную информацию о присутствии планет около звезды, а обнаруженные им звезды с солнцеподобными циклами звездной активности обладают планетами.

Разумеется, на достигнутом уровне знаний можно говорить лишь об уточнении по методу О. Уилсона списка солнцеподобных звезд-кандидатов на обладание собственной планетной системой и о возможности возникновения нового очень эффективного направления поиска внесолнечных планет. Тем не менее сам факт существования такой возможности поднимает проблему циклической солнечной активности на уровень наиболее фундаментальных проблем астрофизики ближайшего будущего и создает предпосылки для ее практического использования.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Шкловский И.С. — *Вопр. философии*, 1979, № 9, с. 54.
2. Morrison P., Billingham J., Wolf J. — *The Search for Extraterrestrial Intelligence (SETI)* NASA SP-419, 1977.
3. Van de Kamp P. — *Astron. J.*, 1963, vol. 68, N 7, p. 515.
4. Jose P. — *Astron. J.*, 1965, vol. 70, № 3, p. 193.
5. Нексел Х. — В кн.: *Поток энергии Солнца и его изменения*. М.: Мир, 1980, с. 41.
6. Эдди Д.А. — В кн.: *Поток энергии Солнца и его изменения*. М.: Мир, 1980, с. 84.
7. Лински Д.П. — В кн.: *Поток энергии Солнца и его изменения*. М.: Мир, 1980, с. 508.
8. Wilson O. — *Astrophys. J.*, 1968, vol. 153, p. 221.
9. Wilson O., Vaughan A., Mihals D. — *Scientific America*, 1981, vol. 244, N 2, p. 82.
10. Wilson O. — *Astrophys. J.*, 1978, vol. 226, N 2, p. 379.
11. Гоф Д. Теоретические предсказания вариации солнечного излучения. — В кн.: *Поток энергии Солнца и его изменения*. М.: Мир, 1980, с. 481—505.
12. Витинский Ю.И. Циклическая и прогнозы солнечной активности. Л.: Наука, 1973.
13. Пудовкин М.И., Козелов В.П. и др. Физические основы прогнозирования магнитосферных возмущений. Л.: Наука, 1977.

## О ПРОЕКТЕ ПОЛЕТА КОСМИЧЕСКОГО ЗОНДА К ПЛАНЕТНОЙ СИСТЕМЕ ЗВЕЗДЫ

**Выбор реактивной системы и характеристик траектории.** Опираясь на приобретенный опыт изучения Солнечной системы [1] и с учетом успехов разработки термоядерных наземных установок, в настоящее время можно говорить о перспективах создания высокоэффективных разгонных двигателей с реализацией периодического поджига микромишенной лазерным лучом или сфокусированным пучком высокоэнергичных электронов в камере сгорания [2, 3]. Расчеты [4] показывают, что космическая реактивная термоядерная система имеет при определенных условиях потенциальные возможности для выведения небольшого контейнера с научной аппаратурой к планетной системе одной из ближайших звезд за время порядка 40—50 земных лет.

Такая беспилотная экспедиция стала бы новым важным этапом в исследовании Вселенной, открыв уникальные возможности для обнаружения планетных систем, изучения их физических характеристик, происхождения и эволюции, а также для решения других проблем SETI. В свою очередь, создание подобной реактивной системы подняло бы на качественно новый уровень развитие космической индустрии.

Теоретические оценки проекта полета космического зонда к внесолнечным (пока гипотетическим) планетам основываются на релятивистской механике тела переменной массы покоя. Преодоление ракетой межзвездных расстояний за время жизни одного поколения людей требует огромных скоростей разгона, вплоть до  $0,4c$  ( $c$  — скорость света), и значительной энергии для гашения скорости у цели. В этом диапазоне скоростей ньютоновская механика дает значительные погрешности и, следовательно, требуется учесть релятивистские поправки как в расчете скоростей полета, так и в расчете выделения энергии.

Исходя из законов сохранения энергии (в сопутствующей ракете  $K_0$ -системе отсчета) и импульса (в  $K_0$ -системе отсчета внешнего наблюдателя, связанной с Землей), можно записать одномерное обобщенное уравнение для расхода массы в виде

$$(d\bar{v}/dt)/(1 - \bar{v}^2) = -\bar{\omega}(1 + s) \frac{d\bar{m}_0}{dt} \frac{1}{\bar{m}_0}. \quad (1)$$

Здесь  $\bar{v} = v/c$ ,  $\bar{\omega} = \omega/c$ ,  $\bar{m}_0 = m_0/M_0$ , где  $v$  — скорость ракеты;  $\omega$  — скорость истечения продуктов сгорания;  $m_0$  — текущая масса;  $M_0$  — начальная масса реактивной системы;  $t$  — текущее время.

При выводе этого уравнения использовано предположение, что возможна дозаправка основной реактивной системы в процессе полета. Это учитывается в правой части уравнения членом  $s$ , равным отношению присоединяемой (в данном случае с нулевой скоростью) массы к текущей массе.

Выражение для скорости истечения продуктов термоядерного взрыва мишенной записывается в общем виде следующим образом:

$$\bar{\omega} = \sqrt{\bar{Q}_0 \bar{\psi} \eta_i (1 - \bar{Q}_0 \bar{\psi} \eta_i / 2)}, \quad (2)$$

где  $\bar{Q}_0 = Q_0/\sigma^2$  — начальная теплотворная способность ядерного топлива;  $\bar{\psi}(\sigma)$  — функция, учитывающая изменение теплотворной способности

топлива;  $\sigma$  — коэффициент, учитывающий дополнительную реакцию в топливе;  $\eta_i$  — внутренний коэффициент полезного действия.

При использовании на борту в качестве исходного топлива дейтерия в результате ядерной реакции синтеза будет вырабатываться  ${}^3\text{He}$ :  $D + D \rightarrow {}^3\text{He} + n + 3,25 \text{ Мэв}$  ( $D$  — ядро дейтерия,  $n$  — нейтрон). Если же топливо содержит еще  ${}^6\text{Li}$ , то открывается возможность использования образующихся нейтронов и вместе с тем регенерации трития:  ${}^6\text{Li} + n \rightarrow T + {}^4\text{He}$  ( $T$  — ядро трития). На это обстоятельство, как способствующее повышению теплотворной способности топлива, было ранее обращено внимание в работе [5]. Наряду с этим регенерированный тритий позволяет пополнить запас топлива в процессе полета и использовать в дальнейшем высокоэффективную реакцию синтеза:  $D + T \rightarrow {}^4\text{He} + n + 17,6 \text{ Мэв}$ , что открывает новые интересные возможности.

Не конкретизируя пока введенного параметра  $s$ , рассмотрим некоторые следствия для физической модели системы, описываемой уравнением (1). Решение (1) с учетом (2) имеет вид

$$\bar{m}_0 = \left( \frac{1 - \bar{v}}{1 + \bar{v}} \right) \left\{ 1 / (2(1+s)\sqrt{2\bar{Q}_0}) + \sqrt{\bar{Q}_0} / (8\sqrt{2}(1+s)) + \bar{Q}_0^{3/2} (32\sqrt{2}(1+s)) \right\} \times \\ \times \left\{ (1 - \bar{v}^2) \left\{ \sigma / (2(1+s)\sqrt{2\bar{Q}_0}) - \sigma\sqrt{\bar{Q}_0} / (8\sqrt{2}(1+s)) \right\} \right. \quad (3)$$

Заметим, что при отсутствии дозаправки ( $s = 0$ ), идеальном внутреннем КПД ( $\eta_i = 1$ ) и отсутствии реакции в топливе ( $\psi = 1, \sigma = 0$ ) из (1) следует решение Аккерета, являющееся обобщением известной формулы К.Э. Циолковского на случай больших скоростей движения. Проанализируем поведение решения (3) при варьировании параметров задачи. Как видно из графиков расхода массы в зависимости от скорости полета, приведенных на рисунке, изменение теплотворной способности вносит определенный вклад в расход масс, но максимальный выигрыш в конечной массе дает космическая дозаправка  $s$ , о чем свидетельствует и качественный анализ (3).

Оптимальным для дозаправки релятивистской ракеты служит момент  $\bar{v}_i = \bar{\omega}$ , при  $\eta_i \approx 1$ , который достигается в конце работы  $i$ -й ступени. Число ступеней  $N$  определяется из известного соотношения

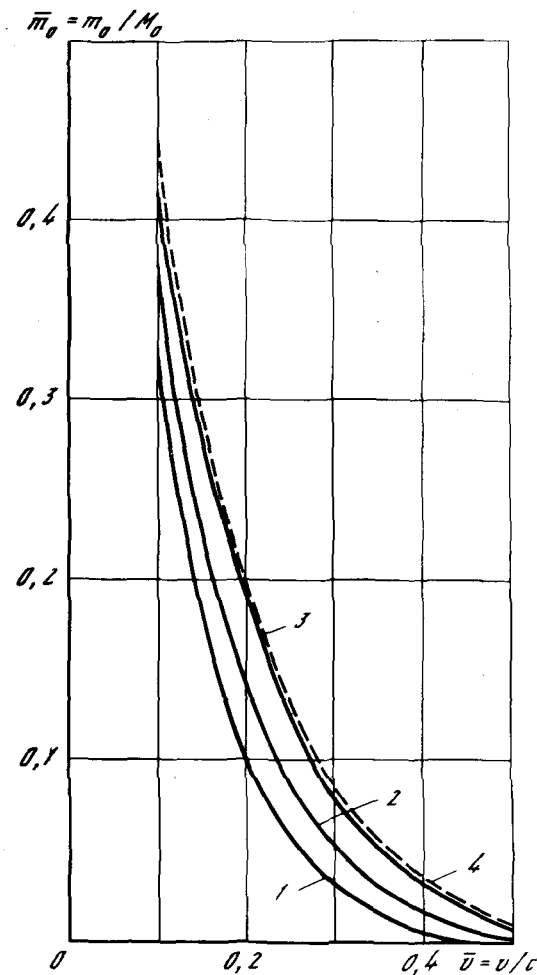
$$(\bar{m}_0) = (m_0/M_0) = [(\bar{m}_0)^{1/N} - \epsilon]^N, \quad (4)$$

а оптимальная величина  $N_{\text{опт}}$  получена из решения уравнения

$$\frac{\partial(1/\bar{m}_0)}{\partial N} = 0, \quad \lambda \ln \lambda = (\lambda + \epsilon) \ln(\lambda + \epsilon). \quad (5)$$

Здесь  $\epsilon$  — отношение массы конструкции ступени к массе полезной нагрузки вместе с самой ступенью;  $\lambda$  — отношение массы полезной нагрузки каждой ступени к массе полезной нагрузки ступени вместе с самой ступенью. Реактивное ускорение предполагается постоянным и равным  $B_0 \sim 0,015g_0$  ( $g_0 \approx 9,81 \text{ м/с}^2$ ). Разгон и торможение осуществляются соответственно от  $\bar{v} \approx 0$  до  $\bar{v} = 0,4$  и от  $\bar{v} = 0,4$  до  $\bar{v} \approx 0$ .

Проведенные оценки для выбранного варианта космической релятивистской системы при условии дозаправки в конце работы 1-й ступени ( $\bar{Q}_0 = 0,005$ ;  $\sigma = 0,5$ ;  $s \approx 0,5$ ) позволяют получить довольно хорошее массовое отношение  $\sim 10^{-4}$ . При числе ступеней  $N = 5$  для массы космического аппарата (полезной нагрузки)  $\sim 450 \text{ кг}$  это отношение при скорости истечения  $\omega_1 \sim 0,1 \text{ с}$ ,  $\eta_1 = 0,8$  обеспечивает на монтажной околоземной орбите массу ракетной системы  $\sim 3000 \text{ т}$ , что сравнимо со стартовой массой



Изменение относительной массы систем  $\bar{m}_0$  в зависимости от относительной скорости полета  $\bar{v}$  для различных значений начальной теплотворной способности топлива  $\bar{Q}_0$ , коэффициентов "качества" топлива  $\sigma$  и дозировки  $s$

1 —  $\bar{Q}_0 = 0,0025$ ;  $\delta = 1$ ;  $s = 0$ ; 2 —  $\bar{Q}_0 = 0,005$ ;  $\delta = 1$ ;  $s = 0$ ; 3 —  $\bar{Q}_0 = 0,005$ ;  $\delta = 0,5$ ;  $s = 0,3$ ; 4 —  $\bar{Q}_0 = 0,0025$ ;  $\delta = 0,5$ ;  $s = 0,5$

лунного носителя "Сатурн-5" на Земле. При отсутствии дозаправки, при том же числе ступеней и массе аппарата начальная масса реактивной системы оказывается почти на порядок больше. Из расчетов получена следующая массовая сводка для релятивистской реактивной системы, снабженной гипотетическими микротермоядерными двигателями:

- масса 1-й ступени — 2780 т, в том числе масса мишеней — 2220 т;
- масса 2-й ступени — 293 т, в том числе масса мишеней — 217 т;
- масса 3-й ступени — 44 т, в том числе масса мишеней — 32 т;
- масса 4-й ступени — 8 т, в том числе масса мишеней — 5 т;
- масса 5-й ступени — 3 т, в том числе масса мишеней — 2 т.

Разумеется, приведенные числа являются ориентировочными, оценочными.

ми. Первые четыре ступени должны служить для работы на участках ускорения и торможения, пятая — на участках маневрирования и (или) выведения к выбранной планете.

Для сравнения отметим, что в известном проекте зонда для полета к звезде Барнарда "Дедал" [6] число ступеней принято равным двум, что дает относительную полезную нагрузку  $\sim 10^{-2}$ . При почти вчетверо меньшей максимальной скорости ( $\sim 0,122$  с) предусматривается разгон с ускорением  $\sim 1 g_8$  космического корабля массой 500 т, что требует начальной массы на монтажной орбите 63000 т. На наш взгляд, осуществить такой проект в обозримой перспективе будет весьма затруднительно.

Вместе с тем реализация более оптимистичных характеристик рассматриваемого беспилотного зонда также сопряжена со значительными трудностями. Условие  $s > 0$  при наличии космической дозаправки можно было бы обеспечить за счет пристыковки к основной ракетной системе дополнительной ракеты-заправщика после окончания работы 1-й ступени на  $\bar{v} \approx 0,1$ . В этом случае необходима посылка (более или менее одновременная) второй ракеты с массовым отношением  $\sim 10^{-2}$ . Очевидные технические сложности и удорожание такого проекта существенно уменьшают перспективы его осуществления. Более привлекательным является использование регенерированного на борту ракеты трития, что потребует, однако, обеспечения автоматической транспортировки части мишеней отработавшей (почти) ступени на следующую и их пристыковки к мишеням этой ступени до расчетного начала ее работы. Возможность практической реализации такой идеи также остается пока весьма проблематичной и требует дальнейшего всестороннего анализа.

**2. Выбор научной стратегии полета.** Научная стратегия полета беспилотного межзвездного зонда должна предусматривать:

а) изучение физических характеристик межзвездного и околозвездного пространства;

б) обнаружение планетных систем и рекогносцировочное исследование их физических характеристик;

в) попытку обнаружения сигналов искусственного происхождения, отождествления их источника и установление с ним связи.

Задачи а) и б) являются взаимодополняющими, другими словами, как отмечалось Брейсуэллом [7], зонд должен заниматься "всеми основными видами космической науки".

Принципиальной основой комплекса научного оборудования зонда служит использование пассивных дистанционных методов, включающих измерения излучения среды на трассе полета в нескольких характерных областях рентгеновских, ультрафиолетовых, инфракрасных и радиоволн, а также периодический телевизионный "репортаж", одновременно служащий целям привязки и автономной навигации. Следует при этом принять во внимание изменение картины пространственного расположения на небесной сфере и яркости звездных источников при релятивистских скоростях зонда. Численное моделирование этого эффекта [8] указывает на сильное группирование и увеличение яркости звезд (голубое смещение) в направлении вектора скорости вследствие абберации и эффекта Доплера. Традиционные контактные измерения плазмы (частицы и волны в широком энергетическом диапазоне), межзвездного магнитного поля и пылевого компонента (энергетический спектр и химический состав) позволят исследовать прямыми методами на длительном временном интервале параметры среды, для которой пока существуют лишь косвенные оценки, что повысит надежность интерпретации результатов наземных астрономических наблюдений. Весь комплекс измерений должен

обладать высокой степенью автономии, возможностью предварительного анализа и фильтрации получаемой информации с целью повышения эффективности использования канала радиосвязи и бортовой энергетики.

Задачи раздела в) требуют оснащения дополнительными средствами, включающими "ощупывание радиомаяком" по перестраиваемой программе, способность идентификации "разумности" сигналов или запросов от ВЦ и введение при необходимости определенных коррекций в систему автономной навигации. Таким образом, речь идет не только об обнаружении, но и о возможности установления контакта межзвездного зонда с гипотетической ВЦ, "отклика на тест", т.е. о сообщении по ее запросу собственной принадлежности и специального кода для связи ВЦ с Землей.

Высокие требования к комплексу научной аппаратуры, бортовой автоматике и логике на основе многофункциональной центральной БЦВМ и локальных микропроцессоров, к надежности и долговечности систем определяют облик зонда. Обеспечение этих требований реализуемо при условии достижения соотношения масс полезной нагрузки и аппарата со служебными системами на уровне не менее 30—35%, т.е. масса научного оборудования должна составить не менее 150 кг.

Оценим также потребную мощность  $P_e$  бортового передатчика зонда с расстояния  $R \approx 10$  св. лет. Мощность сигнала от бортового передатчика

на Земле  $P_c = \frac{P_e}{4\pi R^2} G$ , где  $G = \frac{4\pi S_e}{\lambda^2}$  — коэффициент усиления бортовой антенны;  $S_e$  — ее площадь.

В свою очередь, шумы приемника  $P_{ш} = kT\Delta f$ , где  $T$  — его шумовая температура;  $\Delta f$  — ширина полосы, Гц;  $k$  — постоянная Больцмана. При площади приемной антенны на Земле  $A$  отношение сигнал/шум определяется выражением  $P_c A / kT\Delta f$ . Отсюда, подставляя значение  $P_c$ , определим

$$P_e = \frac{R^2 \lambda^2 kT \Delta f P_c / P_{ш}}{S_e A}$$

Принимая  $\lambda = 3$  мм\*,  $T = 30$  К;  $\Delta f = 10$  Гц,  $P_c / P_{ш} = 10$ , диаметр бортовой антенны 30 м и диаметр наземной антенны 70 м, получаем  $P_e \approx 1,5$  кВт. По-видимому, с учетом несколько худших реальных характеристик бортовой и приемной антенн (по эффективной площади и шумовой температуре в диапазоне миллиметровых волн) эту величину придется увеличить в несколько раз. Тем не менее, сделанная оценка приводит к важному выводу о вполне разумных и технически реализуемых характеристиках канала радиосвязи с зондом на расстоянии порядка 10 св. лет, обладающего приемлемой информативностью для передачи как данных научных измерений, так и телевизионных изображений (за время порядка 1 сут при информативности одного изображения  $\sim 10^6$  бит).

Оснащение зонда спускаемым аппаратом или даже сравнительно небольшой капсулой при общей массе в пределах  $\sim 0,5$  т вряд ли реализуемо и на первом этапе поиска планетных систем нерационально. Такой эксперимент следует рассматривать как продолжение этапа рекогносцировки при условии обнаружения планеты с твердой поверхностью и атмосферой. В этом случае при определении приоритетов в перечне научных задач зонда важное место должно быть отведено биологическим исследованиям.

В заключение заметим, что приведенные оценки, свидетельствующие

\* На целесообразность выбора этой длины волны, дающей по сравнению с первоначально принятой  $\lambda = 21$  см выигрыш по мощности в  $5 \cdot 10^3$  раз, авторам указал В.С. Троицкий.

о принципиальной возможности создания межзвездного зонда, должны бы были подкреплены также анализом возможных ограничений с энергетической стороны (на фазе полета в окрестности Земли).

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Келдыш М.В., Маров М.Я. Космические исследования. М.: Наука, 1980.
2. Завойский Е.К. — УФН, 1972, т. 108, № 4, с. 752–755.
3. Band A., Martin A.R. — JIBIS, 1976, vol. 29, № 2, p. 101–112.
4. Закиров У.Н. — В кн.: Аннот. докл. на V Всесоюз. съезде по теорет. и прикл. механике, Алма-Ата, 27 мая — 3 июня 1981 г. Алма-Ата: Наука, 1981 с. 160.
5. Закиров У.Н., Филлюков А.А. О возможности создания проекта субрелятивистского зонда для поиска форм внеземной жизни: Тез. докл. на 27 конгр. МАФ, 1976, США: Препринт ИПМ АН СССР.
6. Forwad R.L. — AIAA, State Stud. J., 1978, vol. 16, № 2, p. 32–37.
7. Bracewell R.N. — Interstellar communication: Scientific perspectives. Boston, 1974, p. 102–116.
8. Stimets R., Sheldon E. — JIBIS, 1981, vol. 19, № 3.

УДК 008:523.07+523.164

Дж. Тартер

### “КОСМИЧЕСКИЙ СТОГ СЕНА” И СОВРЕМЕННЫЕ ПРОГРАММЫ SETI В США

#### 1. “КОСМИЧЕСКИЙ СТОГ СЕНА”. ЧТО ЭТО ТАКОЕ? ГДЕ ОН НАХОДИТСЯ? НАСКОЛЬКО ОН ВЕЛИК?

Метафора, предложенная Ф. Дрейком, для описания трудностей, с которыми сопряжен поиск ВЦ, уподобляет их поиску бесценной иголки в гигантском “космическом стоге сена”.

Я хотела бы попытаться дать наглядное представление об этом “космическом стоге”, хотя, как вы увидите, в действительности, он больше похож на ларец с зерном. Я попыталась наложить некоторые ограничения на многомерное параметрическое пространство поиска, с тем чтобы наши прошлые усилия и будущие проекты можно было рассмотреть в перспективе. Если исключить обмен информацией с помощью тяжелых частиц и рассматривать только электромагнитное излучение — то параметрическое пространство поиска все еще будет иметь по крайней мере 9 измерений: три пространственных измерения, одно временное измерение, два измерения поляризации, одно частотное измерение, одно — модуляция и одно — мощность сигнала.

Чтобы редуцировать проблему до уровня, при котором можно дать наглядное изображение, я ввела следующие допущения: 1) любая схема детектирования представляет обе поляризации; 2) модуляция передаваемого сигнала такова, что облегчает, а не усложняет его поиск и 3) режим возобновления (или временное заполнение) сигнала достаточно высок. Оставшиеся измерения можно свести к трем осям, откладывая по одной оси число направлений на небе  $N$ , в которых надо производить поиск, по другой — чувствительность приемника (в ваттах на квадратный метр) для каждого отдельного канала (независимо от его ширины), которая характеризует неизвестную мощность передатчика, и, наконец, по третьей оси — частоту сигнала. В результате получим изображение “космического стога сена” (рис. 1).

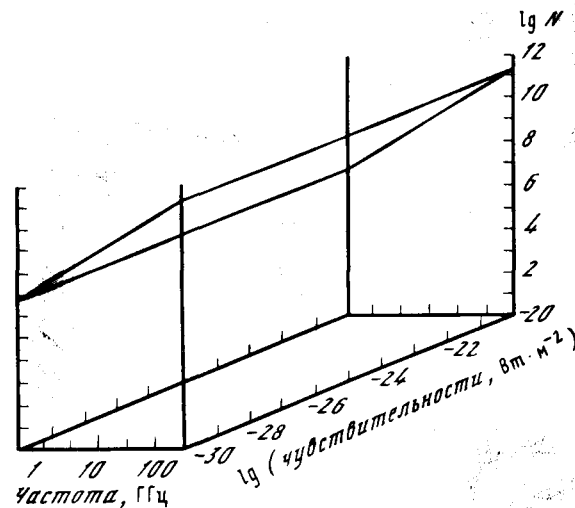


Рис. 1. “Космический стог сена”

Рассмотрим каждую из названных осей. Напомним, что для случая, когда приемник располагается над земной атмосферой, существует минимум шума в микроволновой области, обусловленный фоновым излучением нашей Галактики (рис. 2). Нельзя сказать, что технология исключает использование любой другой части спектра. Точнее, загрязнение галактическим шумом минимально в микроволновой области, и поэтому выбор диапазона очевиден, если только некий подкомитет Галактического Совета не запретит передачу на этих частотах, исходя из требований Декларации о воздействии на окружающую космическую среду! Хотя в нашей собственной атмосфере шум резко возрастает на частотах выше 10 ГГц, мы должны быть готовы, в рамках систематической программы SETI, к поиску во всем микроволновом окне космического пространства. Поэтому частотная ось моего “космического стога” простирается от 300 МГц до 300 ГГц, охватывая весь микроволновый диапазон.

Вторая ось изображает число направлений на небе  $N$ , в которых надо производить поиск. Верхний предел здесь должен быть равен полному числу звезд, которые необходимо обследовать, чтобы найти одну ВЦ — это число может составлять  $10^5$  при оптимистических оценках величин, входящих в уравнение Дрейка, или  $10^{12}$  в наиболее пессимистическом случае. Но  $N$  может также означать число направлений в небе, на которые должен быть наведен данный телескоп (с данной диаграммой направленности) для полного обзора всего неба. Эта величина численно равна приблизительно удвоенному усилению антенны и, следовательно, возрастает как квадрат частоты  $\nu$  и квадрат диаметра антенны  $d$ .

Можно было бы поэтому утверждать, что обзор неба следует проводить только с помощью небольших антенн, так чтобы число направлений на небе было равно числу звезд, приходящихся на одну ВЦ, в соответствии с оценками, которые кажутся предпочтительными для руководителя программы. Однако надо принять во внимание, что при заданном пределе чувствительности эффективный объем поиска, соответствующий единичному наведению остронаправленной антенны, больше чем для того же приемника, проводящего полный обзор неба при помощи изотропной антенны. Предельная поверхность для величины  $N$  на диаграмме “косми-



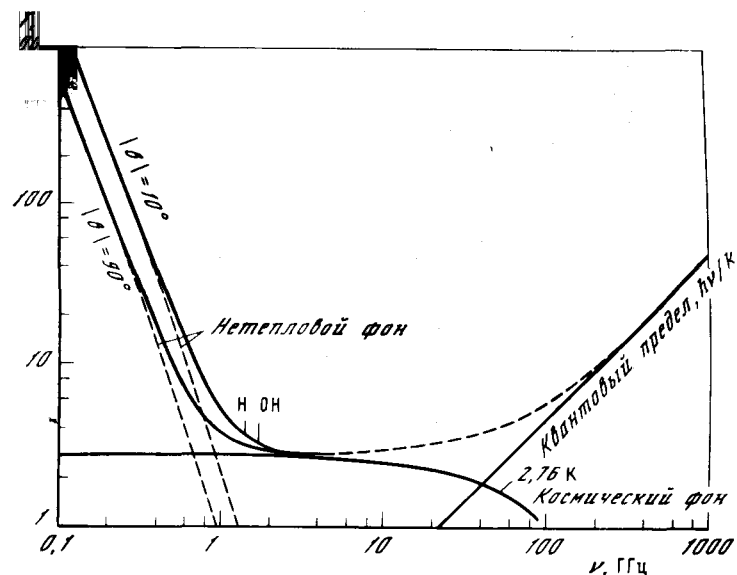


Рис. 2. Микроволновое окно свободного пространства

ческого стога" (см. рис. 1) нанесена, исходя из параметров 300-метровой антенны, у которой усиление на частоте 1 ГГц равно примерно  $10^6$ .

Последняя ось диаграммы — минимальная чувствительность в ваттах на метр квадратный, приходящаяся на один канал приемника. Для этой оси не существует никакого очевидного начала отсчета. Я выбрала  $10^{-20}$  Вт/м<sup>2</sup> как типичное значение для каталогов радиоисточников, полученных в результате обзора больших областей неба. Этот предел чувствительности соответствует одной единице потока при ширине полосы 1 МГц. Правда, система VLA может достигать чувствительности 100 микроаннских в полосе 50 МГц, или  $5 \cdot 10^{-23}$  Вт/м<sup>2</sup>, но это требует многих часов накопления сигнала от 27 антенн, входящих в систему, и поэтому вряд ли будет достижимым уровнем для обзоров неба в ближайшем будущем.

Итак, мы можем, вероятно, сказать, что если бы радиоастрономы захотели соответствующим образом проанализировать свои данные, они могли бы в настоящее время обнаружить сигналы более мощные, чем  $10^{-20}$  Вт/м<sup>2</sup> на один канал. Нельзя не сказать, что необходимо увеличить возможности радиоастрономии, для того чтобы выполнить программу SETI. Принятый нами верхний предел чувствительности подтверждает это! Он равен  $10^{-30}$  Вт/м<sup>2</sup> и представляет собой чувствительность приемника, которая требуется, чтобы "увидеть" планетный локалор Аресибо (с эффективной изотропной мощностью  $10^{13}$  Вт) на любом расстоянии в пределах Галактики. Ясно, что обычная радиоастрономия далека от этого предела — не является ли это главной проблемой для программ SETI?

## 2. КАКОВА ВЕЛИЧИНА ПАРАМЕТРИЧЕСКОГО ПРОСТРАНСТВА ПОИСКА, ИССЛЕДОВАННОГО В НАСТОЯЩЕЕ ВРЕМЯ?

На рис. 3 предпринята попытка показать, что уже достигнуто в ходе наблюдений, проведенных в США за прошедшие 20 лет. Ответ — не много. По частотному разрешению каждая из областей диаграммы в принятом

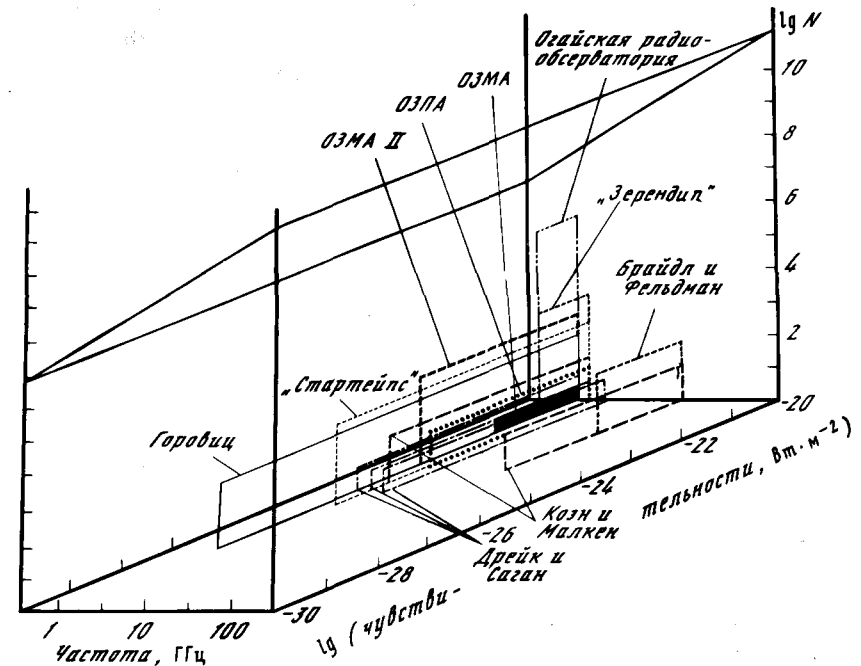


Рис. 3. Проведенные поиски

масштабе представляет собой плоский ломтик — некоторые из них тонкие, как паутина! Например, в 1978 г. П. Горовиц на обсерватории Аресибо провел поиск сигналов от 200 близких звезд с очень высокой чувствительностью  $10^{-27}$  Вт/м<sup>2</sup>, используя 65 000-канальный спектроанализатор. Однако ему удалось покрыть полосу частот шириной всего 1 КГц! В этом поиске пришлось идти на риск, допуская, что он угадал правильную "магическую" частоту.

В другой статье в настоящем сборнике<sup>1</sup> мною суммированы известные мне данные о поисках, проведенных к настоящему времени. Я заранее извиняюсь за возможную неполноту данных, особенно в отношении советских достижений за последние годы, и настоятельно прошу сообщить мне любую дополнительную информацию относительно наблюдаемых программ SETI.

Если при принятых единицах, в которых представлен "космический стог", все три оси имеют одинаковый вес, то мы можем подсчитать, что к настоящему времени обследована приблизительно  $10^{-17}$  часть всего объема "стога". Возможно, это незаконно, возможно, в действительности существует "предпочтительная" область внутри "стога", которая содержит все сигналы и, следовательно, является единственной областью, где необходимо вести поиск. Возможно, это так, но в настоящее время мы недостаточно умны, чтобы определить ее. Поэтому мой ответ на вопрос: "Где они?" состоит в следующем: "Как мы можем знать это, когда мы еще даже не начали поиск!"

<sup>1</sup> См. с. 17. (Примеч. сост.)

### 3. ПРЕДЛАГАЕМАЯ СТРАТЕГИЯ ПОИСКА

Сейчас самое время для того, чтобы начать поиск, — необходимые технические средства у нас есть, а что касается использования микроволнового окна для наземных наблюдений, то мы теряем время, поскольку радиопомехи в этом диапазоне растут.

На рис. 4 показан объем параметрического пространства поиска, который предполагается покрыть в результате проведения систематической программы SETI, которая рассмотрена НАСА. Доктор Гулкис описал конкретную наблюдательную программу и провел предварительные исследования, показывающие, что требуемая технология и аппаратура осуществима. Цель предложенной программы — провести комбинированный поиск сигналов от ближайших звезд солнечного типа в полосе 1–3 ГГц с пределом чувствительности  $10^{-27}$  Вт/м<sup>2</sup> и полный обзор неба в полосе 1–10 ГГц, а также в отдельных частотных интервалах вплоть до частоты 25 (и возможно 100) ГГц с чувствительностью  $10^{-23}$  Вт/м<sup>2</sup>, без чрезмерной нагрузки на каждый отдельный инструмент.

Что мы могли бы обнаружить в таких поисках?

Обзор неба позволит обнаружить:

- передатчик с эффективной изотропной мощностью  $10^{12}$  Вт на расстоянии до 10 св. лет;
- передатчик Аресибо (эффективная изотропная мощность  $10^{13}$  Вт) на расстоянии до 30 св. лет;
- передатчик с эффективной мощностью  $10^{15}$  Вт на расстоянии до 300 св. лет, что достаточно для обследования  $10^5$  звезд.

Направленный поиск позволит обнаружить:

- передатчик с эффективной мощностью  $10^9$  Вт (мощность спутниковой электростанции, работающей на солнечной энергии, или самолета радар) на расстоянии до 30 св. лет;
- передатчик Аресибо (эффективная мощность  $10^{13}$  Вт) на расстоянии до 1 кпс.

Ни один из предлагаемых методов не позволяет обнаружить "сигнал утечки", равный "утечке" земного излучения ( $10^6$  Вт эффективной изотропной мощности), однако оба они увеличат исследованный объем "космического стога" в  $10^7$  раз по сравнению с тем, что сделано до настоящего времени. На мой взгляд, такое расширение возможностей оправдывает капиталовложения в специальную аппаратуру SETI, а применение двойной (комбинированной) стратегии поиска максимизирует наши шансы на успех в поисках неизвестного. Я надеюсь, что в ближайшем будущем в нашей стране будут найдены источники финансирования этой программы, так что можно будет начать систематические исследования "космического стога".

УДК 008:523.07+523.164

Р.С. Диксон

### СОСТОЯНИЕ ПРОГРАММЫ SETI ОГАЙСКОГО УНИВЕРСИТЕТА

Радиообсерватория при Огайском университете начиная с 1973 г. ведет непрерывный обзор неба по программе SETI (24 ч в сутки в течение 365 дней в году) с помощью меридианного радиотелескопа размером 100X X 20 м. По собирающей площади телескоп эквивалентен параболической антенне диаметром 175 футов (53 м). 50-канальный блок фильтров (ширина каждого канала 10 КГц) работает на частоте вблизи радиолинии водорода 21 см. Полная температура системы составляет 100 К, она ограничивается в первую очередь охлаждаемым жидким азотом параметрическим усилителем на входе.

Центральная частота блока фильтров непрерывно контролируется компьютером для введения в лабораторную частоту радиолинии водорода 1420,4056 МГц доплеровской коррекции за движение относительно Галактического центра [1, 2].

Телескоп работает в режиме обзора, оставаясь на постоянном склонении в течение нескольких дней, в то время как через его диаграмму проходят участки неба при всех значениях прямого восхождения. Затем склонение меняется на полуширину диаграммы направленности, и весь цикл повторяется. Антенна покрывает область склонений от  $-36^\circ$  до  $+63^\circ$ . Отметим, что район Галактического центра (часто принимаемый в качестве подходящего объекта SETI) находится в пределах области, доступной этому телескопу, в отличие от большинства других крупных радиотелескопов, находящихся в Северном полушарии. Телескоп использует диаграммную модуляцию, что обеспечивает два наблюдения каждого данного источника ежедневно. Действительно, выходной сигнал приемника представляет собой разность между излучением, принимаемым двумя близко расположенными на небе лучами. Этот метод также подавляет земные помехи и минимизирует эффекты, связанные с изменением коэффициента усиления приемника.

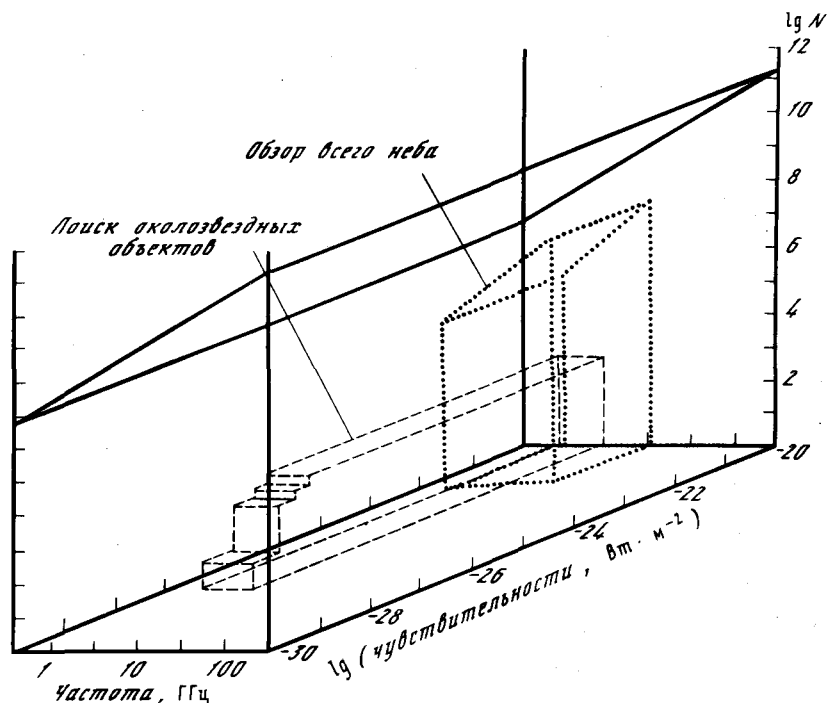


Рис. 4. Будущие поиски

Вся обработка данных ведется в реальном времени. Для каждого из 50 каналов независимо проводятся следующие процедуры.

1. Отсчеты снимаются через каждую звездную секунду в течение 10-секундного интервала.

2. Набор их 10 точек исследуется на внутреннюю согласованность, несовместимые точки отбрасываются.

3. Оставшиеся точки осредняются, образуя основной 10-секундный интервал времени интегрирования.

4. Вычисляются текущие значения уровня записи (нулевой линии) и шума за несколько предшествующих минут, при этом точки берутся с прогрессивно уменьшающимися весами по мере удаления в прошлое. Аномальные точки (обусловленные континуумом радиоисточников и т.д.) после проверки исключаются из этих вычислений.

5. Значения уровня записи и шума сравниваются с предварительно установленными нормальными пределами для этих величин. Если какая-либо из них выходит за эти пределы, то данный канал считается неработающим, и об этом делается соответствующая запись.

6. Нулевая линия вычитается из данных измерений, и остаток нормируется к уровню шума. Таким образом, выходной сигнал выражается непосредственно в единицах собственного стандартного отклонения.

7. Результаты печатаются на строчном печатающем устройстве каждые 10 с вместе с соответствующими наблюдательными параметрами: прямым восхождением и склонением (приведенными к значениям 1950.0), галактическими координатами, местным солнечным временем и частотой местного стандарта.

В то время как в течение следующего 10-секундного периода накапливаются новые данные, предыдущие исследуются на возможность присутствия разумных сигналов, используя следующую методику.

1. Любой сигнал, превышающий  $\sim 5\sigma$ , отбирается для возможного рассмотрения.

2. Если сигнал присутствует в двух и более соседних каналах, он отбрасывается, как слишком широкополосный.

3. Если сигнал присутствует более чем в пяти последовательных временных периодах, он отбрасывается как слишком протяженный по угловым размерам.

4. В добавление к описанной выше проверке сигнала на интенсивность вычисляется нормированная функция кросс-корреляция между известной диаграммой антенны и измеренными значениями сигнала. Для любого радиоисточника малых угловых размеров, при его прохождении через диаграмму, сигнал должен изменяться в соответствии с формой диаграммы направленности, так что этот тест, по существу, представляет собой метод оптимальной фильтрации. Значение функции корреляции, деленное на пороговую мощность сигнала, используется затем для исключения статистических флуктуаций рассматриваемых подходящих сигналов.

5. После того как какой-то из приведенных выше тестов закончен, делается соответствующая запись на печатающем устройстве и информация записывается на диск компьютера. Через несколько дней данные с диска переписываются на перфокарты для постоянного хранения.

Данные с компьютера подвергаются тщательному анализу и используются в качестве основы для создания банка зарегистрированных сигналов на перфокартах. При этом все записи, сделанные во время неисправности оборудования, молний, помех и т.д., исключаются из рассмотрения. В случае обнаружения любых необычных сигналов режим работы телескопа изменяется так, чтобы непрерывно наблюдать этот сигнал. Имеется также

вспомогательная аппаратура для анализа спектра с разрешением в несколько сот герц и для прослушивания сигнала. Эта аппаратура используется только тогда, когда на обсерватории присутствует штатный обслуживающий персонал.

Все накопленные за длительное время (годы) перфокарты с записью сигналов статистически анализируются по группам для определения, существует ли какая-нибудь корреляция между сигналами, относящимися к определенному положению на небе, частоте, времени и т.д.

Оборудование Огайской обсерватории работает в основном без обслуживающего персонала. Единственный человек, присутствующий на обсерватории — это техник-механик, который следит за работой телескопа. Сама программа SETI выполняется добровольцами на общественных началах.

За время проведения наблюдений было зарегистрировано несколько кратковременных внеземных сигналов, но ни один из них не сохранился достаточно долго для позитивного отождествления. Наиболее ярким примером является объект, известный под названием сигнал "Ого-го!", наблюдавшийся в 1977 г. [3].

Предварительные статистические исследования показывают отсутствие связи этих мимолетных сигналов с Галактическим центром. Меньше, чем ожидалось, сигналов зарегистрировано в галактической плоскости, особенно вблизи центра Галактики. Больше, чем ожидалось — вдоль галактической оси. Этот эффект может быть, а может и не быть статистически значимым, однако он указывает на феномен такого типа, который может быть обнаружен только в процессе полного обзора неба.

Возможности обзора можно повысить за счет дополнительно планируемой аппаратуры, которая позволит перекрыть весь частотный диапазон "водной дыры" (приблизительно 1400–1700 МГц).

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Dixon R.S. — Icarus, 1973, vol. 20, p. 187.
2. Dixon R.S. — Icarus, 1977, vol. 30, p. 267.
3. Kraus J.D. — Cosmic Search, 1979, vol. 1, N 3, p. 31.

УДК 523.07 + 523.164.42

В.С. Троицкий

#### ПРОГРАММА ПОИСКА ВНЕЗЕМНЫХ ЦИВИЛИЗАЦИЙ

Общая программа SETI в СССР была разработана в 1973 г. и опубликована в 1974 г. [1]. В программе, в частности, предусматривалось создание в 1975–1985 гг. наземной системы непрерывного обзора всего неба ненаправленными антеннами во всем оптимальном диапазоне волн.

В рамках этой программы начиная с 1970 г. в НИРФИ (Горький) проводились наблюдения на ненаправленных радиотелескопах в диапазоне длин волн от 3 до 60 см. Наиболее полные наблюдения выполнены на волне 52 см. Наблюдения обычно велись круглосуточно в периоды с мая по ноябрь в течение 10 лет. Результаты начальной серии этих наблюдений и условия их проведения опубликованы в работе [2]. Как известно, эти наблюдения позволили открыть неизвестное ранее спорадическое радиоизлучение околоземного пространства на волнах сантиметрового и деци-

метрового диапазонов. Дальнейшие наблюдения, проводимые по настоящее время, не дали каких-либо указаний на прием сигналов из дальнего космоса. Однако они позволили получить богатый материал о зависимости спорадического радиоизлучения от фазы солнечной активности в период 11-летнего цикла. Эти наблюдения и развитие теории ВЦ указали на необходимость существенного совершенствования принятой у нас всенаправленной системы наблюдений.

Использование всенаправленной антенны (диполя) обеспечивало чувствительность по потоку  $S_m$  всего  $10^{-16}$  Вт/м<sup>2</sup>. Легко подсчитать, что для ближайших звезд, находящихся на расстоянии 3 пк, такой поток при всенаправленном передатчике потребует мощность  $P = 10^{34} S_m R^2 = 19^{19}$  Вт. При направленной передаче с применением антенны типа Аресибо требуется мощность в  $G$  раз меньшая. Если принять гейн  $G \approx 10^7$ , то мощность генератора должна быть  $10^{12}$  Вт. При передаче с расстояния в 10 000 пк, т.е. в пределах всей нашей Галактики, необходима мощность соответственно  $10^{25}$  и  $10^{18}$  Вт. Напомним, что мощность  $10^{25}$  всего в двадцать раз меньше полной мощности электромагнитного излучения Солнца. Возможность реализации таких мощностей весьма сомнительна даже для очень развитой ВЦ.

Действительно, нами было показано [3], что цивилизация сможет соорудить всенаправленный передатчик  $10^{16}$  Вт за время, исчисляемое миллионами лет. Невозможность более быстрого строительства вытекает из требования сохранения межпланетной околозвездной среды обитания цивилизации от энергетического засорения. При этом требовании скорость производства энергии не может существенно превышать тысячной доли энерговыделения своей звезды. Для нашей Солнечной системы это составляет  $\rho \sim 10^{23}$  Дж/с. Следовательно, если на создание, например, маяка-передатчика нужно затратить  $E$  джоулей энергии, то время строительства определится выражением  $\theta = E/\rho$ .

Нетрудно понять, что величина  $E$  будет определяться главным образом затратами энергии на космический транспорт, так как строительство маяка должно быть вынесено достаточно далеко от места обитания. Это необходимо для обеспечения биологической безопасности и недопустимости энергетического влияния маяка на среду обитания. Для Солнечной системы это приводит к требованию выноса всенаправленного маяка за пределы внешних планет [3]. Таким образом, мы приходим к выводу о том, что не следует ожидать мощных сигналов.

Мы считаем, что этот же вывод следует из доказанной [4, 5] невозможности существования в настоящее время цивилизация третьего типа, по классификации Кардашова, т.е. цивилизации, владеющей практически неограниченной энергией (порядка энергии Галактики). Действительно, пространственные размеры цивилизации как целой самоорганизующейся системы не могут быть сколь угодно большими. Цивилизация объедается происходящими внутри ее обменами информацией, массами, деятельностью, скорость которых ограничена скоростью света.

В самоуправляющейся системе время запаздывания информации должно быть существенно меньшим, чем характерное время изменений системы. Для человеческой цивилизации это время не должно быть больше нескольких дней или даже часов. Таким образом, размеры пространства, занятого цивилизацией, не должны превышать расстояния, которое проходит свет за время менее суток. Еще меньшие размеры требуются для обеспечения обмена массами и деятельностью. Так как передача массы внутри цивилизации вряд ли целесообразна со скоростью, большей сантисветовой или даже миллисветовой, это уменьшает их еще в десятки раз.

Ограниченность размера цивилизации окрестностями ее звезды неизбежно приводит к ограничению производимой энергии — она не должна превышать небольшой доли энергии звезды. Это, как мы уже говорили, вытекает из необходимости для сохранения среды обитания цивилизации держать в допустимых границах плотность окружающего ее потока энергии. Итак, максимальное производство энергии для Солнечной системы ограничено величиной  $10^{23}$  Вт. Это довольно скромные возможности.

Неверно думать, что если мы будем использовать солнечную энергию, то ничего не изменим в окружающей среде. Улавливание и преобразование значительной части солнечной энергии в другие виды, например в радиоизлучение маяка, тоже приведет к существенному нарушению энергетического равновесия в околозвездной среде обитания.

Итак, не существует сверхцивилизаций, посылающих сверхмощные сигналы, легко принимаемые простыми средствами. Отсюда следует необходимость существенного повышения чувствительности приемных систем.

Таковы предпосылки новой стратегии поиска сигналов ВЦ. Мы полагаем также, что ввиду огромных трудностей поиска сигналов, связанных с необходимостью "угадывать" параметры сигналов ВЦ, необходимо останавливаться на самых простейших решениях, диктуемых природой. В этом плане мы считаем необходимым искать сигнал в направлениях, укзываемых выдающимися объектами и во время, определяемое замечательными явлениями Галактики, применяя принципы конвергенции мышления ВЦ, выдвинутые П.В.Маковецким [6], к единому решению о стратегии SETI. В связи с этим намечается две программы наблюдений. Первая основана на развитии в соответствии с новыми требованиями одновременного наблюдения за всей небесной полусферой, а вторая — на целенаправленном поочередном приеме излучения от звезд. В последнем случае предполагается вести наблюдения в выделенных природой направлениях (замечательные объекты в Галактике, район вспышки новой и т.п.). В программу включается наблюдение по расписаниям, синхронизованным вспышками новых и сверхновых звезд [6], наблюдение малой угловой окрестности Новой Лебеда 1975 г. (радиусом порядка  $3^\circ$ ), сканирование по континууму, либо дискретно по всем звездам этой окрестности. По расчетам, если все цивилизации окрестности Новой Лебеда начнут посылать сигналы по началу вспышки, то, например, сигнал с  $\tau$  Cet поступит на Землю в 1987 г. (с точностью  $\pm 80$  сут). Необходимы высокая оперативность службы новых, точная фиксация максимума вспышки и быстрое вычисление расписания на первые дни и месяцы после вспышки, точность начальной части расписания  $\pm 1$  сут. Наблюдения, синхронизованные вспышкой Новой Лебеда, уже велись на РАТАН-600 по звезде Барнарда 2 сентября 1978 г. (точность расчета времени  $\pm 5$  сут) и по Альтаиру 25 августа 1979 г. (точность расчета времени  $\pm 30$  сут).

Программа целенаправленного поиска в аппаратурном плане аналогична известным программам США с использованием многоканального анализатора и будет реализовываться несколько позднее на антеннах диаметром 65 м. Поэтому я остановлюсь на первой упомянутой выше программе одновременного приема излучения со всей небесной полусферы.

Для этой цели в НИРФИ создается приемная система "Обзор". Она будет состоять из нескольких десятков радиотелескопов, настроенных на длину волны 52 см. Диаграмма каждой антенны составит примерно  $15^\circ$ . Таким образом будет перекрыта диаграммами вся небесная полусфера. Планируется использование приемников радиометрического типа с температурой шума около  $100^\circ\text{C}$  и общей полосой 2 МГц. Кроме того, обеспечивается прием сигналов круговой и линейной поляризации. Полоса

приема будет образовываться 10 частотными каналами по 200 кГц каждый. Чувствительность по потоку для каждого частотного канала будет составлять около  $10^{-19}$  Вт/м<sup>2</sup>. Одновременно с этой системой будут работать два радиотелескопа с всенаправленной дипольной антенной. Один — с высоким частотным разрешением, другой — как измеритель параметров Стокса приходящих сигналов. Чувствительность многоканального радиотелескопа будет составлять около  $10^{-20}$  Вт/м<sup>2</sup> при полосе одного канала в 100 Гц, а радиотелескопа, измеряющего поляризацию, — около  $10^{-19}$  Вт/м<sup>2</sup>. Обработка данных будет осуществляться автоматически по соответствующей программе с помощью ЭВМ. Система "Обзор" является аддитивной, может наращиваться постепенно. Предполагается к 1995 г. довести число лучей до 100. Наблюдение с 20 лучами может быть начато уже в 1990 г. Практически с помощью этой системы может быть обнаружен только целенаправленный сигнал от передатчика умеренной мощности, находящегося внутри сферы с радиусом не более 100 пк. Даже в этом случае, если для передачи используется антенна диаметром порядка 300 м (гейн около  $2 \cdot 10^7$ ), необходима мощность генератора  $\sim 10^{10}$  Вт. Это довольно большая величина, соответствующая, например, мощности пяти крупнейших современных гидроэлектростанций.

Система будет способна обнаружить также технологические излучения от самых ближайших звезд, находящихся в пределах 2–3 пк. По-видимому, наиболее перспективным является целенаправленный поиск с использованием больших полноповоротных антенн: при минимальном уровне шумов с параллельными каналами шириной в несколько герц и общей полосой порядка мегагерца с использованием выделенных в Галактике направлений и моментов времени поиска.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Программа SETI. — Астрон. журн., 1974, т. 51, № 5, с. 1125–1132.
2. Troitskij V.S., Starodubsev A.M., Bondar'N. — Acta Astronom., 1979, vol. 6, p. 81–94.
3. Troitskij V.S. — Die Sterne, 1980, Bd. 56, N 1, S. 21–26.
4. Троицкий В.С. — В кн.: Проблемы поиска внеземных цивилизаций: Тр. Зеленчук. симпозиум. М.: Наука, 1980.
5. Разин В.А. — В кн.: Проблемы поиска внеземных цивилизаций: Тр. Зеленчук. симпозиум. М.: Наука, 1980.
6. Маковецкий П.В. — В кн.: Проблемы поиска внеземных цивилизаций: Тр. Зеленчук. симпозиум. М.: Наука, 1980.

УДК 008:001.07

В.Ф. Шварцман

### ПОИСК ВНЕЗЕМНЫХ ЦИВИЛИЗАЦИЙ — ПРОБЛЕМА АСТРОФИЗИКИ ИЛИ КУЛЬТУРЫ В ЦЕЛОМ?

Как известно, возможности современной радиоастрономии таковы, что человечество сейчас способно в принципе зарегистрировать сигналы от цивилизации того же технического уровня, как наша, находящейся в любой точке Галактики ( $10^9$  солнцеподобных звезд). С другой стороны, если внеземные цивилизации (ВЦ) существуют, то подавляющее большинство из них, вероятно, в тысячи раз старше человечества. Они должны быть, казалось бы, сопоставимо технически более развитыми, нежели наша цивилизация. Почему же человечество не регистрирует их сигналов?

"Космическое молчание" — центральный вопрос проблемы SETI. На него мыслимы по крайней мере следующие ответы:

- 1) человечество уникально во Вселенной;
- 2) небо пока изучено плохо, нужно больше наблюдать;
- 3) возможности наших телескопов пока недостаточны для того, чтобы зарегистрировать искусственные сигналы, ибо мощность посылаемых сигналов мала;
- 4) сигналы ВЦ на самом деле нами уже регистрируются, но "мощность" культурной традиции, в рамках которой они интерпретируются, пока недостаточна для того, чтобы осознать их искусственную природу.

Автор придерживается последней из перечисленных точек зрения, однако ни безусловных аргументов в ее пользу, ни тем более конкретного описания "достаточной культурной традиции" он предложить не может. Цель настоящей публикации состоит в том, чтобы попытаться увлечь проблемой SETI представителей разных культурных традиций, ибо кто знает, в чем именно заключается узость нынешних интерпретационных рамок? К примеру, сам автор считает, что осознание каких-либо космических сигналов как целенаправленных передач возможно лишь в контексте всей человеческой культуры, а не одной лишь науки. В частности, ниже обсуждаются достоинства (с точки зрения контакта между цивилизациями) таких долговечных и многоуровневых компонентов культуры, как искусство и игра.

Кроме того, по мнению автора, проблема SETI могла бы служить основой для поиска "универсалий" в земной культуре, для синтеза ее различных пластов (наук, искусств, философии, этики), для возникновения в культуре новых традиций. Этот аспект проблемы SETI, быть может, даже важнее чисто "прагматического" результата: обнаружения сигналов ВЦ. Он, безусловно, заслуживает обсуждения.

Господствует мнение, согласно которому проблема обнаружения ВЦ может быть решена исключительно силами естественных наук. При этом самыми актуальными задачами признаются улучшение радиотелескопов и развитие кибернетики. По-моему, более актуальны другие задачи.

Мне представляется вероятным, что среди десятков тысяч радиоисточников, занесенных в наши радиокаталоги, и десятков миллионов оптических источников, зафиксированных на картах звездного неба, есть немало объектов искусственной природы. Эти источники регистрируются уже сегодня, но остаются как бы "непонятными", потому что проблема опознания ВЦ не является проблемой только научной — это проблема культуры в целом.

Наука есть лишь часть, элемент культуры, причем элемент сравнительно молодой. Эвристические принципы, идея верификации и ценностные установки современной науки "выкристаллизовались" внутри культуры лишь около 400 лет назад. Лишь в XVIII в. началось экспоненциальное возрастание параметров науки, т.е. ее развитие приобрело необратимый характер. Лишь в XX в. наука превратилась в производительную силу общества, а ее результаты во многом определили облик человечества и даже поставили под вопрос его будущее. Общеизвестно, что преобразование характера науки в XX в. является глобальным и беспрецедентным; вероятно, оно будет продолжаться и впредь (например, под влиянием других форм духовной деятельности человека или распространения супер-ЭВМ, или контакта с ВЦ...).

Поэтому не исключено, что смысл категории "наука" изменится к XXX столетию столь же радикально, как и за предыдущие десять веков<sup>1</sup>. Между

<sup>1</sup> В частности, по мнению автора, к этому времени исчезнет грань между естественным и искусственным интеллектом; "зрелые" цивилизации, безусловно, способны активно менять физическую природу носителей своего разума.

тем в культуре есть сферы несравненно более древние и, быть может, более долговечные.

Как астрофизик, я хотел бы подчеркнуть, что разница в возрасте цивилизаций, возникающих вокруг разных звезд, может исчисляться сотнями миллионов лет. Напомню, что дисперсия возрастов солнцеподобных звезд в нашей Галактике — около 2 млрд лет! Поэтому естественно ожидать, что "репертуар передач", а точнее — способ появления разума перед внешним миром, ориентирован на наиболее долговечные элементы культуры предполагаемой цивилизации — зрителя. Общепринятая среди физиков точка зрения, согласно которой внеземной интеллект должен передавать "младшим собратьям" фрагменты своего научного знания, кажется очень спорной.

Что интереснее для цивилизации-соседки: глава из земного учебника физики, fuga Баха или образец шахматной партии, разыгранной между Алехиным и Капабланкой? Это не бессмысленный вопрос. Как известно, для очень многих людей искусство и игры представляются чем-то гораздо более "существенным", нежели научные результаты.

Еще раз оговорюсь, что я ни в коей мере не собираюсь ставить науку ниже других компонентов культуры. Безусловно, возникновение науки изменило феномен человечества в XVIII—XX вв. не менее радикально и неожиданно, чем, например, 10 000 лет назад его изменило возникновение новых этических норм. Безусловно, открытие научного метода мышления является величайшим завоеванием нашей цивилизации. Науке присущ более "надличный" характер, нежели иным формам культуры; она обладает свойством "саморазвития"; она удивительно хорошо приспособлена к функционированию в рамках нынешних социальных структур. Достижения науки в раскрытии таинственной гармонии природы являются поразительными.

Однако нельзя не признать, что, хотя наука могущественна, область ее приложений ограничена. К примеру, пробуждение души человека — задача других компонентов культуры.

Возвратимся к проблеме поиска ВЦ. По-моему, "естественнонаучный шовинизм" привел здесь к парадоксальной ситуации. Что получается? Мы не знаем, во имя чего должны вестись передачи, но тем не менее считаем, что нам известен оптимальный способ космического послания: радиоволны. Далее проблему SETI мы сводим к проблеме создания крупных радиотелескопов и продолжительного сканирования неба.

Между тем ясно, что способ передачи, равно как ее содержание, определяется целью передачи. Однако проблема целей, которые могут преследоваться ВЦ, выходит за рамки науки. Действительно, наука есть сфера деятельности, направленная на получение новых знаний о мире. Однако цель межзвездных передач — отнюдь не получение новых знаний теми, кто их передает (характерный интервал между обменом репликами — тысячелетия). Поэтому проблема SETI неотделима от проблемы самоосознания внеземным интеллектом своей сущности, от его ценности установок и его целей.

Какую цель могут преследовать ВЦ, передавая в космос сигналы:

- а) подытожить уровень развития своей культуры, отобрав для передачи ее высшие достижения (проблема SETI как "зеркало", как "внешний критерий" ценностей)?
- б) разыскать во Вселенной себе подобных ради любознательности (или счастья?) очень далеких потомков?
- в) навязать абонентам свою культуру и тем самым "завоевать" ноосферу

Галактики (см., например, роман Фр. Хойла и Дж. Эллиота "Андромеда")?

г) сообщить абонентам свои сиюминутные знания о мире и о самих себе?

д) убедить, что вовсе не знания — главное в культуре, в жизни, во Вселенной?

Ни одному человеку не известен ответ на эти вопросы. Вполне может быть, что на нашем земном языке цели высокоразвитой цивилизации в принципе сформулировать невозможно.

Допустим, что цель инопланетян заключается все же в сообщении нам знаний. Тогда даже в рамках земной цивилизации мыслимо по крайней мере три различных типа передачи знаний:

1) передача научных сведений, в том числе фактического материала о самих себе и своей планете;

2) передача произведений искусства (в первую очередь, наверное, музыкальных и живописных);

3) передача игр: правил, по которым играют в те или иные игры, и образцов отдельных партий, разыгранных представителями цивилизации.

Не отрицая некоторых достоинств передачи научно-информационных фрагментов, хотелось бы перечислить ряд аргументов в пользу передач 2-го и 3-го типа, т.е. произведений искусства и игр. Основной аргумент связан с неизбежной разницей в уровнях цивилизаций — собеседников.

Если речь идет об обращении к более развитому адресату, то лучше передавать не сумму научных знаний, а сведения об устройстве отправителя. Это позволит понять, какой "срез" мира отправитель может познать в принципе. Но, возможно, об устройстве человеческой психики наша музыка или поэзия способны поведать высокоразвитой цивилизации гораздо больше, чем данные нейропсихологии.

Если же речь идет об обращении высокоразвитой цивилизации к тем, кто стоит гораздо ниже ее, то особую важность приобретают многоплановость и многоуровневость произведений искусства.

Научное сообщение построено на иерархическом принципе. Пропуск той или иной его части — вследствие технических помех или по причине лингвистического непонимания отрывка — исключает возможность понимания большинства следующих частей. Кроме того, научное сообщение предполагает, что получатель в состоянии обучиться логике, на принципах которой построено сообщение. Но даже опыт Земли показывает, что возможны разные типы логики. Способности к активному владению "математической" логикой у людей — большая редкость, равно как абсолютный музыкальный слух, уникальная память, либо дар мгновенно перемножать в уме десятизначные числа. Наличие этих способностей у отдельных индивидуумов естественнее расценивать как отклонение от физиологической нормы, нежели как норму. (Напомним, что для овладения "Геометрией" Евклида Э. Галуа потребовалось три дня. Преподаватель А. Пуанкаре говорил коллегам: "В моем классе учится математическое чудовище".)

С другой стороны, конечно, "одноходовые" элементы математической логики (например, арифметические действия) доступны подавляющему большинству людей. Исключения принято у педагогов называть "акалькуликами" и зачислять в специальные школы для умственно неполноценных. Любопытно, что дети-акалькулики иногда во всех остальных отношениях психически полноценные, к примеру, способны писать превосходные стихи, заниматься живописью, либо музыкой. Это неудивительно и, возможно, имеет прямое отношение к проблеме SETI [1]. Как показали открытия современной физиологии, восприятие и обработка логической инфор-

мации есть в основном функция левого полушария головного мозга, между тем как обработка образной информации выполняется по преимуществу правым полушарием. Сколько "полушарий" у инопланетян?

В зависимости от устройства цивилизации-слушателя переданное "строго логичное" сообщение либо будет понято ею целиком, либо вообще не будет понято. В отличие от этого произведения искусства гораздо менее иерархичны: их можно принимать отдельными случайными частями, и каждая часть при этом сохраняет самостоятельную ценность; в них можно понимать самую малость — но даже эта малость обладает собственным глубоким смыслом.

Произведения искусства — многоплановые, многоуровневые и многоцелевые передачи, поэтому они понимаются и вызывают интерес у несравненно большего числа людей, чем научные передачи. Произведения искусства отражают многовековые традиции культуры: и обостренную индивидуальность человека-творца, его тончайшую духовность, и грубую ткань ежедневных будней, сиюминутное общественное сознание, и древние бессознательные архетипы, лежащие в истоках общечеловеческой символики. Поэтому их информативность выходит за рамки современных им филологических, этнографических, психологических и других знаний.

Хорошо известно, что эстетическое воздействие истинных произведений искусства на людей не поддается исчерпывающему логическому объяснению. Следовательно, в одном отношении искусство "глубже" науки. Оно обязано оперировать сущностями, которые присутствуют не только в сфере сознания, но и в "коллективном бессознательном" людей. Эти сущности освоены наукой лишь частично<sup>2</sup>.

Пока речь шла о достоинствах с точки зрения проблемы SETI языка искусства. Хотелось бы с этой же точки зрения отметить достоинства языка игры.

Правила игр имеют очень небольшую длину в битах, но они несут в себе гигантскую информацию о всех партиях, которые могут быть разыграны. Передавая правила, цивилизация как бы сообщает ключ ко всем миллиардам партий. А дальше, так же как живое существо, так же как социальный организм, игра может раскрыть свое богатство в процессе функционирования. Передав вслед за правилами несколько образцов игр, разыгранных между людьми или между компьютерами, мы тем самым передали бы довольно тонкую информацию о том, что собой представляют современные люди и современные компьютеры.

Впрочем, правила наших игр были бы очень информативными для ВЦ и сами по себе. Например, 64 клетки шахматного поля ( $10^2$  элементов) — отнюдь не случайность: 9-клеточные шахматы для взрослого человека оказались бы скучны, а состоящие из 90 000 клеток ( $10^5$  элементов) — недоступны (в отличие от современного компьютера, который с легкостью победил бы в подобной игре всю международную шахматную федерацию). Немаловажные сведения об устройстве человеческого мозга извлекла бы, наверное, ВЦ и из того факта, что очень многие люди предпочитают шахматам или шашкам игры, исход которых определяется не только логикой, но и слепым случаем (вроде домино, преферанса, нарда), либо даже вообще от логики не зависит (лотерея, рулетка).

И типы популярных игр, и образцы лучших партий эволюционируют вместе с цивилизацией. В них реализуются новые идеи, но не статическим,

а динамическим образом: они проигрываются, а не излагаются. В играх находят отражение типичные методы мышления, склонности характеров, ценностные установки и т.п.

Игры связаны с гораздо менее иерархическим знанием, нежели наука, напоминая в этом отношении произведения искусства. В каждой игре могут участвовать существа довольно разного интеллектуального уровня, разумеется, с разным успехом, но последний как раз и указывает на устройство участника!

Здесь нужно подчеркнуть, что резких граней между наукой, искусством и игрой не существует (см., например [2, 3]). Известны пограничные формы, хотя их не очень много. Например, теорию шахматной игры можно считать разделом науки, а математику можно рассматривать как пример бесконечной неантагонистической игры. Или, скажем, исполнение симфонии можно рассматривать как акт искусства, но можно также — как пример другой неантагонистической игры, участники которой предлагают слушателю одну из возможных реализаций идей, заложенных в партитуре.

Примеры можно продолжить, но они не меняют сути дела. По-моему, в отличие от традиции прошлых веков, стремившейся осуществить синтез разных сфер человеческого духа, наше время породило феномен "конгломератной культуры". Культура XX в. представляет собой, как мне кажется, соединение разнородных частей, почти ничего не знающих друг о друге.

Действительно, какой процент из активно работающих физиков знает, в чем суть открытий середины XX в. в живописи, музыке, психологии или этике? Думаю, что небольшой. Между тем тысячи гуманитариев считают, что значение этих открытий огромно, что именно эти открытия составляют истинное содержание культуры нашего времени. И для них символом последних достижений человечества являются конкретные картины, симфонии, этические концепции, а не теорема Геделя о неполноте арифметики, не космический корабль и не концепция "черных дыр".

Правда, с другой стороны, эти гуманитарии практически ничего не знают о Геделе, о ближайших звездах или о теории относительности.

Возникает впечатление, что на Земле существует несколько совершенно различных "цивилизаций". Их служители добровольно замыкаются в границах своих культурных микрокосмосов. Следовательно, важнейшей задачей SETI является установление связи между представителями этих земных "цивилизаций".

Проблема поиска вездомного интеллекта позволяет с новой и вполне конкретной точки зрения взглянуть на земную культуру, отличить важное от второстепенного, всеобщее от частного. Проблема SETI открывает новый подход к синтезу всех культурных ценностей нашей эпохи. Она способна стать основой подобного синтеза.

В заключение хотелось бы отметить следующее. Во многих сферах земной культуры нет резкой грани между способами кодировки сообщений и содержанием сообщений. Например, содержание картины Эль Греко не только в том, какие предметы на ней изображены, но и в том, как они изображены, т.е. в способах и средствах кодирования. Полотно живописца информирует не о природе, а о культуре. То же относится к "Картинкам с выставки" Мусоргского или "Щебечущим птицам" Куперена. Суть культурного сообщения неотделима от формы сообщения. Я думаю, что суть меж-

<sup>2</sup> Вероятно, полное освоение их наукой будущего означало бы исчезновение искусства, как такового, и замену его на технологическое художественное творчество. Произойдет ли это?

<sup>3</sup> В современной культурологии это обстоятельство часто формулируется в виде афоризма "The medium is the message" (средство сообщения является сообщением). (см., например [41]).

звездной передачи также неотделима от формы этой передачи, более того: диктует эту форму.

Трудно удержаться от еще одного примера: самый главный этап в понимании произведения искусства — это понимание того, что перед нами действительно произведение искусства.

Я полагаю, что самый главный и самый сложный этап в обнаружении межзвездной передачи — это понимание того, что мы действительно имеем дело с передачей, т.е. сигналом, содержание которого и форма которого подчинены цели. Именно поэтому проблемы опознания внеземного "разума" представляется мне проблемой всей земной культуры.

Автор благодарит за критические замечания и полезные обсуждения рукописи В.П. Артемова, И.Н. Бернштейна, Л.М. Гиндилиса, В.Л. Гинзбурга, Я.Б. Зельдовича, Ф.А. Искандера, В.В. Казютинского, Н.С. Кардашева, И.М. Копылова, Н.И. Кузнецова, М.С. Мацковского, Е.Т. Туроньскую, Е.Л. Фейнберга, Е.Л. Ченцова, И.С. Шкловского.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Иванов В.В. О зависимости структуры языка от устройства, пользующегося языком. — В кн.: Проблема поиска внеземных цивилизаций. М.: Наука, 1981, с. 196—210.
2. Гессе Г. Игра в бисер. М.: Худ. лит., 1969.
3. Аверинцев С.С. Культурология Иоханна Хейзинги. — Вопр. философии, 1969, № 3.
4. Моль А. Социальная динамика культуры. М.: Прогресс, 1973.

УДК 523.07+523.164 (01)

В.В. Рубцов

### НЕКОТОРЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ НАУКОМЕТРИЧЕСКОГО АНАЛИЗА ЛИТЕРАТУРЫ ПО ПРОБЛЕМЕ ВНЕЗЕМНЫХ ЦИВИЛИЗАЦИЙ

Нельзя не заметить, что до настоящего момента<sup>1</sup> науковеды уделяли весьма слабое внимание проблеме внеземных цивилизаций (ВЦ). Мы не найдем ни одной науковедческой работы, в которой эта проблема подвергалась бы более или менее обстоятельному рассмотрению. Если учесть тот значительный и всевозрастающий интерес, который современная "наука о науке" испытывает к междисциплинарным исследованиям [1], это не может не вызвать удивления. Проблема ВЦ "существенно междисциплинарна", она включает в себя естественнонаучные, философско-гуманитарные и технические аспекты, и как область исследований находится на раннем этапе своего развития — этапе выработки основных понятий, теорий и методов. Возможность в "реальном масштабе времени" следить за становлением подобной области, фиксировать особенности ее самоорганизации и проверять на них теоретические представления о "феномене междисциплинарности" появляется не так уж часто, и ее, на наш взгляд, не следует упускать. Расчет на последующие ретроспективные исследования такого рода вряд ли оправдан: особенности процесса развития любой системы во многом "снимаются" в результате; восстановить же их по архивным материалам удается далеко не всегда.

<sup>1</sup> Необходимо помнить, что все положения статьи и использованные в ней материалы соответствуют положению на конец 1981 г. (Примеч. сост.)

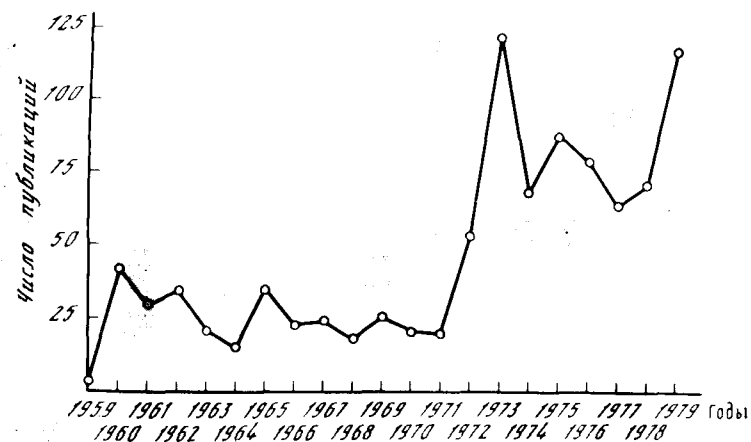


Рис. 1. Динамика числа публикаций

С другой стороны, науковедение вообще и наукометрия в частности в состоянии внести определенный вклад и собственно в развитие исследований по проблеме ВЦ, способствуя процессу формирования этой области и в известной мере направляя его. Многие "трудности роста" проблемы ВЦ, по-видимому, обязаны своим появлением недостаточно развитому "самосознанию", "самоопределению" ее, связанному, в свою очередь, с отсутствием достаточно глубокого представления о ее структуре и динамике эволюции. Целью настоящей работы и является предварительный наукометрический анализ литературы по проблеме ВЦ и выявление ряда основных наукометрических характеристик этой области исследований. Будут рассмотрены динамика массива публикаций, продуктивность авторов и продуктивность источников. На основании результатов этого анализа мы попытаемся сделать ряд выводов об особенностях современного этапа изучения проблемы ВЦ.

Массив публикаций включал в себя 974 работы по избранной теме (статьи, рецензии, письма в редакции), опубликованные в журналах, сборниках и трудах конференций за период с 1959 до 1979 г. Источниками массива были библиографии [2—4] и личная картотека автора.

Динамика числа публикаций изображены на рис. 1, а нарастающий итог количества публикаций — на рис. 2. Легко видеть, что точки на рис. 2 не ложатся на одну прямую, а следовательно — рост числа публикаций по проблеме ВЦ не подчиняется экспоненциальному закону с постоянным показателем экспоненты. Наиболее удобно аппроксимировать эту зависимость пятью экспонентами (табл. 1).

Можно заключить, что рассматриваемая область исследований находится в состоянии бурного (максимальный период удвоения составляет ~3,5 года), но весьма неустойчивого роста. Потенциал, сообщенный проблеме ВЦ пионерскими работами Дж. Коккони и Ф. Моррисона, Р. Брейсуэлла, С. фон Хорнера, Ф. Дайсона и ряда других исследователей, оказался к концу 60-х годов более или менее исчерпанным, и понадобилась советско-американская конференция в Бюракане (1971 г.), чтобы придать ей новое ускорение и новый масштаб (среднее количество работ за 1972—1979 гг. в 3,5 раза превышает аналогичный показатель за предыдущие годы).

Публикации распределяются по языкам следующим образом: английс-



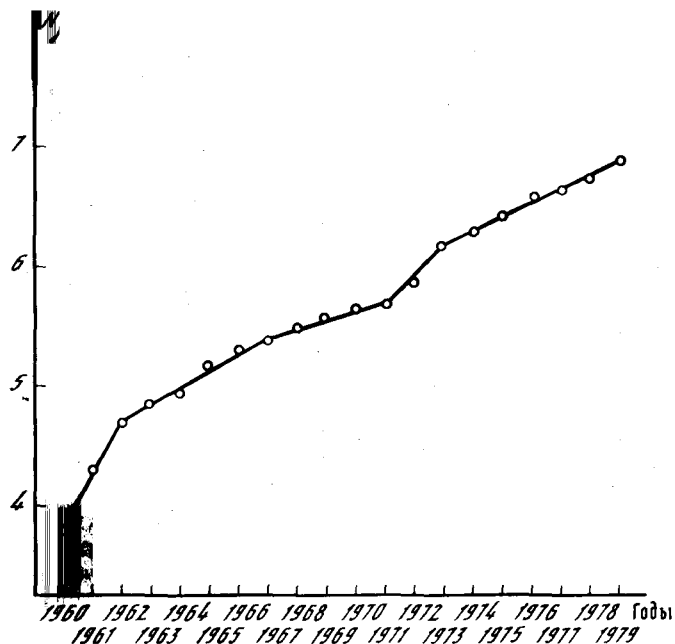


Рис. 2. Нарастающий итог числа публикаций

кий — 660 (67,8%); русский — 116 (11,9%); немецкий — 107 (11,0%); польский — 48 (4,9%); прочие (французский, чешский, словацкий, венгерский, сербско-хорватский, испанский, шведский, итальянский, болгарский, голландский, эстонский, норвежский) — 43 (4,4%).

Общее количество авторов в исследованном массиве публикаций равно 584, количество работ с указанием авторства — 870, количество авторств (случаев появления фамилии автора рядом с названием работы [5, с. 338]) — 977. В среднем на одного автора приходится, таким образом, 1,5 работы и 1,7 авторства, но индивидуальные различия в продуктивности весьма значительны. Так, по одной работе на данную тему опубликовали 448 авторов (или 76,7% общего состава), тогда как 26 человек (4,5%) опубликовали 260 работ (26,6%)<sup>2</sup>. Ниже приводится список наиболее продуктивных исследователей проблемы ВЦ с указанием числа публикаций:

C. Sagan	22	M. Subotowicz	18	Б.Н. Пановкин	14
F. Drake	20	Л.М. Гиндилис	17	S. von Hoerner	13
M. Michaud	18	B. Oliver	14	A. Lawton	12

В достаточно "устоявшихся" областях исследования распределение продуктивности авторов хорошо соответствует закону Лотки  $n_i = n_1 / i^\alpha$ , где  $i$  — количество работ;  $n_i$  — количество авторов, написавших по такому числу работ;  $n_1$  — количество авторов, написавших по одной работе;  $\alpha \approx 2$  для авторов с низкой продуктивностью и  $\sim 3$  для авторов с высокой продуктивностью. Распределение же продуктивности авторов в проблеме ВЦ,

<sup>2</sup> При подсчете продуктивности соавторство учитывалось как отдельная публикация.

Таблица 1

Характеристики экспоненты	1960—1962	1963—1967	1968—1971	1972—1973	1974—1979
Показатель экспоненты	1,10	0,38	0,19	0,58	0,29
Период удвоения, год	0,6	1,8	3,7	1,2	2,4

Таблица 2  
Распределение авторов по продуктивности

Количество работ ( $i$ )	$\lg i$	Количество авторов, написавших $i$ работ ( $n_i$ )	$\lg n_i$	$\alpha = \frac{\lg n_i - \lg n_j}{\lg i}$
1	0,00	448	2,65	
2	0,30	70	1,85	2,67
3	0,48	27	1,43	2,54
4	0,60	11	1,04	2,68
5	0,70	3	0,48	3,10
6	0,78	5	0,70	2,50
7	0,85	6	0,78	2,20
8	0,90	2	0,30	2,61
9	0,95	1	0,00	2,79
12	1,08	1	0,00	2,45
13	1,11	1	0,00	2,38
14	1,15	2	0,30	2,04
17	1,23	1	0,00	2,15
18	1,25	2	0,30	1,88
20	1,30	1	0,00	2,04
22	1,34	1	0,00	1,98

как явствует из приводимой таблицы, (табл. 2) заметно отклоняется от этого закона. Здесь  $\alpha \approx 2,6$  для авторов, написавших не более 13 работ, и 2,0 — для тех, на чьем счету большее число публикаций.

Интересно сравнить эти данные с соответствующими параметрами такой междисциплинарной сферы науки, как системные исследования. В последнем случае распределение продуктивности авторов хорошо соответствует закону Лотки с показателем 2,35 [6, с. 134], что, по-видимому, говорит о более зрелом состоянии этой области исследований сравнительно с проблемой ВЦ.

Анализируя массив источников, мы ограничились журнальными публикациями. Такой подход не полностью корректен, учитывая значительный вклад разовых сборников и трудов конференций; вместе с тем он оправдан уже потому, что прогнозные рекомендации по отбору литературы имеют смысл лишь по отношению к периодическим и продолжающимся изданиям.

765 статей, рецензий и писем были опубликованы в 233 журналах. Среднее число работ на источник составляет 3,3. В данном субмассиве количество отечественных работ составляет 62 (8,1%), отечественных журналов — 16 (6,9%). Зарубежных работ — 703 (91,9%), зарубежных журналов — 217 (93,1%).

На рис. 3 приведено ранговое распределение журналов, публикующих

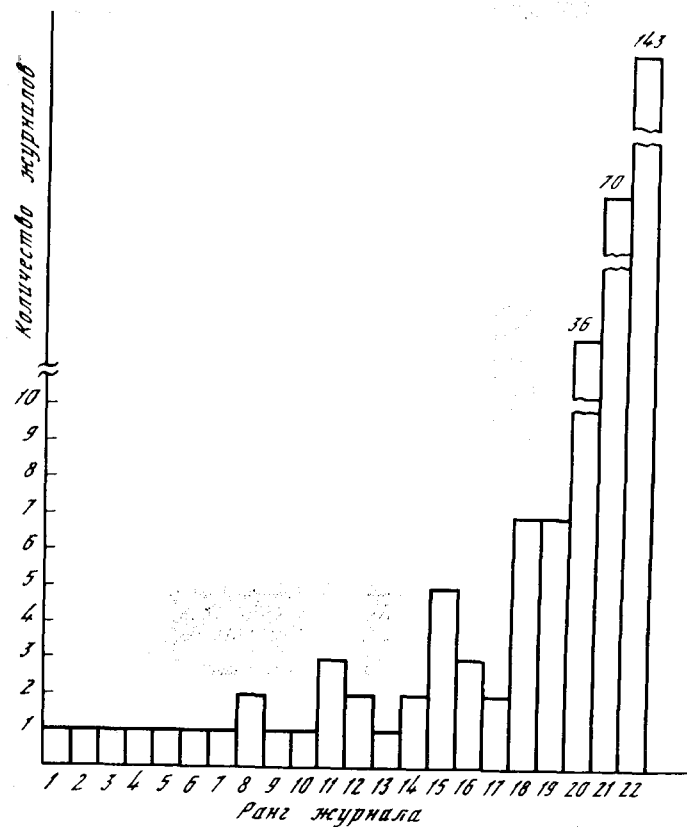


Рис. 3. Ранговое распределение журнальных источников по их продуктивности

статьи на тему ВЦ, по их продуктивности. Приведем названия 19 наиболее продуктивных журналов, опубликовавших в целом 385 статей (~50% их общего количества):

1. Spaceflight	85
2. Journal of the British Interplanetary Society (JBIS) (Interstellar Studies Series)	40
3. Science	25
4. Cosmic Search	22
5. Icarus	21
6. Science News	20
7. Astronomyka	19
8. Astronomy	16
9. Земля и Вселенная	16
10. Nature	15
11. Acta Astronautica <sup>3</sup>	14
12. Quarterly Journal of the Royal Astronomical Society	13

<sup>3</sup> Строго говоря, этот журнал лишь условно может быть причислен к "ядерной" зоне, так как все 14 статей по проблеме ВЦ, опубликованы в нем, были помещены в одном специализированном выпуске.

13. Second Look	13
14. Mercury	13
15. Analog	12
16. Science Digest	12
17. Природа	11
18. Astronomie und Raumfahrt	9
19. Urania (PRL)	9

Два издания (2 и 4) специализируются по проблеме ВЦ, десять журналов (1, 5, 7–9, 11, 12, 14, 18, 19) посвящены астрономии и исследованию космического пространства, пять (3, 6, 10, 16, 17) — общенаучные и два (13, 15) — можно отнести к разряду прочих. Наиболее продуктивным журналом все эти годы был "Spaceflight", но с 1978 г. наблюдается неуклонное падение числа опубликованных в нем работ по проблеме ВЦ, и соответствующие публикации в рамках Британского межпланетного общества концентрируются теперь на страницах JBIS.

Журналы "ядерной" зоны целесообразно, по-видимому, активнее использовать в информационном обеспечении работ по проблеме ВЦ, реферируя по возможности все опубликованные в них работы на эту тему.

Разумеется, как и подчеркивалось выше, проведенный нами анализ является предварительным и не включает в себя, в частности, столь существенных моментов, как изучение авторской популяции и сети цитирования. Вместе с тем результаты его позволяют сделать определенные выводы как в отношении общих закономерностей становления междисциплинарной области исследования, так и в плане особенностей развития конкретно интересующей нас проблемы.

1. С достаточно высокой вероятностью можно утверждать, что рост "массива статей" (в который мы включаем также рецензии и письма) "становящейся" междисциплинарной области не описывается экспоненциальным законом с постоянным показателем экспоненты (ср. [6, с. 129–130]), а распределение продуктивности авторов может существенно отклоняться от закона Лотки.

2. Основной массив работ в такой области вначале публикуется в общенаучных и "близких по профилю" изданиях (хотя трудно бывает эту близость определить; в нашем случае таковыми оказались издания по астрономии и космонавтике). Это, с одной стороны, позволяет новой области исследований пользоваться уже сложившейся в науке системой публикаций, а с другой — ведет к известному "растворению" ее в смежных дисциплинах и проблемах. Переломным моментом в становлении области является организация специализированных (проблемно-специализированных) изданий, в результате чего междисциплинарная область исследований получает "окончательно реальный" статус.

3. Сложившаяся в проблеме ВЦ система публикаций во многом неудовлетворительна именно в силу своего "предспециального" характера. По существу, единственным специализированным научным журналом по проблеме является JBIS (Interstellar Studies Series)<sup>4</sup>, но и его специализация, с одной стороны, относительна (в понятие "межзвездных исследований" входит не только поиск ВЦ), а с другой — узка (рассматриваются преимущественно технические аспекты проблемы). В целом же работы рассеяны по большому числу малопродуктивных журналов, лишь изредка уделяющих внимание данной проблематике. Если, к примеру, в массиве литературы по астрономии источники с продуктивностью 1–2 работы составляют 55% общего их количества и дают лишь 5% публика-

<sup>4</sup> "Cosmic Search" — издание скорее популярного характера.

ций [7, 8], то в проблеме ВЦ доля таких источников превышает 76%, и в них публикуется 27% работ. Отсюда — значительная (если не количественно, то качественно) роль разовых специализированных сборников и трудов конференций (единственное продолжающееся издание, серьезно специализирующееся по теме ВЦ — Труды философской секции чтений, посвященных разработке научного наследия и развитию идей К.Э. Циолковского). Но это не решает проблемы, так как статья в сборнике не тождественна по своим функциям статье в журнале и, в частности, существенно уступает ей в оперативности.

На наш взгляд, в центре системы публикаций по проблеме ВЦ должен в идеале находиться международный общепроблемный научный журнал, на страницах которого нашли бы себе место работы как естественнонаучного и технического, так и философско-гуманитарного плана. Такой журнал позволил бы если не решить полностью, то приблизить к решению вопросы взаимодействия и синтеза различных дисциплинарных аспектов проблемы, связи между исследователями, обеспечения высокого профессионального уровня публикуемых работ. Реально, видимо, можно на первых порах надеяться скорее на издание продолжающегося сборника типа ежегодника "Системные исследования" (который, кстати, по своему научному уровню и принципам построения может служить определенным ориентиром для аналогичного сборника по проблеме ВЦ). Как первый шаг это было бы весьма полезно и внесло бы существенные улучшения в функционирование нашей области исследований.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. *Мирский Э.М.* Междисциплинарные исследования и дисциплинарная организация науки. М., 1980.
2. *Лаврова Н.Б.* — В кн.: Проблема SETI: (Связь с внеземными цивилизациями). М.: Мир, 1975, с. 336—348.
3. *Лаврова Н.Б., Парнес Т.Л., Гиндилис Л.М.* Космические цивилизации: Бюллетень. М.: МГУ, 1976—1980, № 5—16.
4. *Mallove E.F., Forward R.L., Paprotny Z., Lehmann J.* — JBIS, 1980, vol. 33, N 6.
5. *Прайс Д. Дж. де С., Бивер Д. де Б.* — В кн.: Коммуникация в современной науке. М., 1976, с. 335—350.
6. *Дорошенко С.И.* — Системные исследования: Ежегодник 1978. М., 1978, с. 127—135.
7. *Запольский Т.И., Щербина-Самойлова И.С.* — НТИ. Сер. 1, 1978, № 9, с. 21—26.

УДК 70:523

*Дж. Ломберг*

### МЕЖЗВЕЗДНОЕ ПОСЛАНИЕ "ВОЯДЖЕРА"

Летом 1977 г. США произвели запуск двух космических кораблей "Вояджер" с целью изучения внешних планет Солнечной системы. Каждый из них пролетел вблизи Юпитера и Сатурна, послав на Землю тысячи фотографий и много других данных об этих планетах, их кольцах и спутниках.

Скорости траектория были выбраны с таким расчетом, чтобы корабли преодолели гравитационное поле Солнца и продолжали полет к звездам до тех пор, пока они не будут обнаружены другими посланцами в межзвездном пространстве.

Программа SETI покоится на вере в существование во Вселенной других разумных, технологически развитых обитателей. Если некоторые из этих обитателей намного опередили человечество в исследовании космического

пространства, то хотя бы один из них может перехватить какой-либо из космических кораблей "Вояджер".

Руководство НАСА хотело подготовиться к такой возможности, и поэтому было решено вложить в каждый корабль послание для того, чтобы попытаться передать информацию о земном мире и создателях "Вояджера". Подобная работа была проделана пять лет тому назад перед запуском космического корабля "Пионер" к Юпитеру и Сатурну. К. Саган и Ф. Дрейк, оба из Корнельского университета, составили для "Пионера" рисунок-послание на пластинке. На рисунке, сделанном Линдой Саган, был схематически показан излучающий радиоволны атом водорода (длина волны и частота излучения могли дать представление о наших единицах длины и длительности). Рисунок также содержал положение Солнца относительно ряда пульсаров, чьи периоды были приведены в единицах периода излучения водорода, и схему Солнечной системы с изображением космического корабля, покидающего третью планету. Наконец, на нем были схематически изображены мужчина, женщина и космический корабль.

Этот рисунок вызывал восторженное одобрение публики, поэтому, когда "Вояджер" был почти готов к запуску, НАСА опять обратилось к Сагану и Дрейку с просьбой составить новое компактное, легкое и дешевое послание. На составление и изготовление послания было дано всего два месяца, но, несмотря на сжатые сроки, оба решили составить послание, которое было бы намного сложнее, чем пластинка, посланная с "Пионером".

"Вояджеры" могут летать сотни миллионов лет, прежде чем их обнаружат (если вообще обнаружат), поэтому любое послание должно быть очень прочным. Магнитная лента не выдержит интенсивной радиации и магнитных полей окружающего Юпитера, а хаотическое движение молекул, очевидно, вызовет разрушение любого микрофильма. Гравированная пластинка, посланная с "Пионером", очень прочна, но она вмещает лишь небольшое количество информации.

Фрэнк Дрейк понял, что фонографическая запись есть не что иное, как гравированная поверхность, но гравированная таким образом, что может содержать больший объем информации. Запись могла бы содержать не только звуки и музыку, но и изображения, так как видеоизображение может быть замедлено вплоть до частот, которые могли бы быть записаны в области фонографической технологии грамзаписи. Каждое послание "Вояджера" в форме фонографической записи было сделано на медной пластинке с золотым покрытием, запечатанной в алюминиевую защитную оболочку, и закреплено болтами на борту каждого космического корабля. По-видимому, ни один из "Вояджеров" не столкнется с какой-нибудь звездой или планетой, так как космос не так густо населен звездами. Но при полете в межзвездном пространстве запись подвергнется воздействию мельчайших частиц пыли и сгустков молекул. Вероятно, алюминиевая оболочка разрушится и поверхность пластинок будет также исковеркана, но на это потребуются много времени. Самые скромные подсчеты приводят к оценке в один миллиард ( $10^9$ ) лет. Даже если они никогда не будут найдены, записи на "Вояджере" станут самыми долголетними реликвиями человечества. Так как на подбор и составление послания было отпущено очень мало времени, Саган и Дрейк быстро собрали группу людей из разных областей культуры, которые интересовались проблемой SETI. В нее вошли: Тилоти Деррис (журналист), Энн Дрюян (писатель), Линда Саган и я (художники), Валентин Борнаков (радиоинженер), Герман Эккельман (фотограф) и много других людей, работающих в центре космических исследований при Корнельском университете.

Всем понравилась идея включить музыку как часть послания. Сам

корабль с его усложненными ЭВМ и научной аппаратурой будет достаточным свидетельством нашего научного и технологического мастерства, но ничего не скажет об эстетической или философской сторонах нашей личности. Музыка кажется хорошим средством выражения этих аспектов гуманизма, особенно потому, что многие музыкальные формы и правила подобны математическим и фактически выведены из физических законов. Гармонию, например, легче всего понять из принципов усиления и интерференции. Поскольку люди используют математическую структуру музыки для выражения эмоций, музыка кажется лучшим (возможно, единственным) средством описания нашей эмоциональной жизни существам из другого мира. 75% записей "Вояджера" посвящено музыкальным формам выражения многих культур. С помощью дирижера Муррей Сидлина и музыковедов Алана Лоцнакса, Роберта Брауна и Чу Вен Чанга мы выбрали 27 различных произведений для записи. Западная классическая музыка представлена Бахом, Бетховеном, Моцартом и Стравинским, а западная легкая музыка — Чак Верри (рок-энд-ролл), Луи Армстронгом (джаз) и Блайндом Вилли Джонсоном (блюз). Но западная музыка составляет менее половины музыкальной подборки. Остальная запись включает классическую музыку Индии, Явы и Японии, а также китайское произведение для семиструнной гитары, сочиненное 2500 лет назад. Была включена и народная музыка Перу, Болгарии, Австралии, Африки и две народные мелодии из Советского Союза: азербайджанская музыка для волынки и грузинское хоровое пение. В запись вошли игра на свирели с Соломоновых островов, а из Новой Гвинеи — ритуальное пение, которое датируется, возможно, каменным веком, когда первобытные люди только еще начинали сочинять музыку.

Мы хотели, чтобы вся эта музыка показала широчайшие возможности человечества, так как считали, что послание должно представлять не только западную культуру, а культуру всего мира. Остальные 25% записи "Вояджера" состояли из голосов людей, различных звуков Земли и 116 рисунков, закодированных как видеосигналы. Вместе с записями были упакованы фоновые графические капсулы и иглы. На футляре записи выгравирована схема, изображающая установку иглы на поверхности записи, скорость проигрывания и способ преобразования видеосигналов в изображение. Как и на пластинке "Пионера", воспроизведена схема излучения атома водорода для получения метрических и временных единиц, а также карта пульсаров, на которой помечено положение Солнца в Галактике.

Человеческие голоса были записаны в форме приветствий на 55 наиболее распространенных языках Земли. Мы собрали людей, говорящих на этих языках, из разных обществ Корнельского университета и попросили каждого из них произнести приветствие по его выбору. Мы не надеялись, что есть хоть малейшая возможность, что эти приветствия будут переведены внеземными существами. Но поскольку эта запись являлась символом общества, а также действенным посланием в другие меры, казалось, есть необходимость включить такие приветствия, как способ показать, что эти послания идут от всего мира. Может так случиться, что подробный анализ этих звуков, сделанный внеземными существами, наведет их на мысль, что они создавались при прохождении воздуха через ткани легких и что эти звуки происходили от существ, которые создали "Вояджер". Быть может, в этом есть нечто эксцентричное, но из вежливости мы включили в эти приветствия песенку горбатого кита, чтобы показать, что на Земле могут быть другие разумные существа, кроме нас.

Мы собрали 50 голосов и звуков нашей планеты. Они начинаются с естественных звуков природы, океана и суши, которые внеземные су-

щества могут распознавать на основании своих собственных исследований земноподобных планет и которые могут дать сведения о плотности нашей атмосферы. Затем идут звуки биологического мира: птиц и насекомых, лягушек, собак, львов, шимпанзе, волков. Далее записаны звуки людей и их деятельности, шаги, удары молотка и звук пилы, удара топора о дерево, звук машины, сирены, реактивного самолета, запуска ракеты, плачущего ребенка, которого успокаивает мать, и, наконец, регулярное шелканье пульсара (этот звук легко узнается чужими астрономами и даст ключ к разгадке природы карты пульсаров на обложке записи).

Самая первая часть записи послания "Вояджера" и самая богатая в смысле реальной информации — это последовательность из 116 фотографий и схем, расположенных таким образом, чтобы, как мы надеемся, послужить ключом для дешифровки. Первая фотография — простой круг, который также изображен на обложке в конце инструкции, — сообщает о том, как расшифровать рисунки. Затем, мы попытались создать "словарь". Цифры были определены путем соотнесения двоичных и арабских знаков и групп точек. Затем были показаны математические действия. Используя схему водорода, мы опять определили единицы веса, длины и времени. Таким образом были установлены единицы, которые могут быть использованы в остальных рисунках для определения размеров и веса объектов.

Задача выбора рисунков, представляющих Землю и ее обитателей, и создание четкой их последовательности оказалась очень трудной. Саган и Дрейк советовались со многими специалистами в области SETI. Физик Филип Моррисон, биолог Лесли Оргел, инженер Бернард Оливер и писатель-фантаст Роберт Хайнлайн — все внесли конструктивные предложения. На меня сильнее всего подействовали предупреждения Хайнлайна и Моррисона о возможной неясности нарисованных знаков. Каждый предполагал, что если даже разумные существа имеют такое же зрение, как мы, они могут никогда не изобрести двухмерных рисунков. Поэтому мы считали необходимым включить специальный ключ для разгадки природы рисунков — отмечать начало последовательности рисунков простой геометрической фигурой (кружком), который был нарисован на крышке записи. Другой путь помощи для распознавания рисунков — изображение силуэта важных объектов на фотографии, перед тем как воспроизвести саму фотографию. Это поможет показать, как мы на рисунках отделяем объекты от фона (или, по словам художников, "образ" от "Земли").

Сами по себе рисунки расположены в последовательности, грубо параллельной последовательности звуков: изображения естественного мира, изображения биологии Земли и изображения, которые намекают на разнообразие и богатство культуры человечества. Мы руководствовались тем же принципом, что и при выборе музыки, стараясь представить все человечество, а не только Запад. Мы приняли одно из спорных решений — не включать фотографий войны, каких-либо проявлений несправедливости, угнетения или фотографий, отражающих другие серьезные проблемы, беспокоящие человечество, так как рисунки ядерного оружия могут, например, быть поняты внеземными существами как некая угроза, а мы, конечно, не хотим передавать угрозы в качестве приветствия с Земли. Мы приняли это решение также потому, что считаем правильной показать лучшее в человечестве, ибо надеемся, что оно сможет решить свои проблемы, вместо того чтобы глупо разрушить планету. Кроме того, мы решили избегать показывать любые памятники религии или идеологии.

Последовательность начинается после кружка и словаря со схематического изображения Солнечной системы и фотографий ее планет, так как с

точки зрения инопланетян Марс и Юпитер являются такими же частями человеческого дома, как Нью-Йорк и Москва. Кроме того, инопланетяне могут легко распознать кратерные и газовые гигантские планеты, известные им по результатам их собственных исследований. Это поможет им узнать, как "рассматривать" наши рисунки.

Фотография солнечного спектра — первая из 20 фотографий, сделанных в цвете, находящихся в последовательности из 116 рисунков. Цветные фотографии закодированы как три последовательные черно-белые фотографии, сделанные через разные цветные фильтры. Поскольку набор линий поглощения в спектре Солнца является индикатором его цвета и светимости, внеземные астрономы смогут точно соединить три черно-белых изображения в одно цветное, проводя калибровку на основании известных им сведений о звездных спектрах. Проведя эту работу, они смогут таким же образом получить другие цветные фотографии.

Затем мы показываем Землю, как ее видно из космоса, с помощью фотографии, сделанной с низкой орбиты, для того чтобы показать, что мы находимся на этой голубой планете. Схематически показаны атомы для ознакомления с элементарным составом газов в нашей атмосфере. Эти же самые атомные схемы используются для показа структуры и деления молекулы ДНК. Далее следует серия фотографий и анатомических схем, которые показывают различные стадии митотического деления клетки, оплодотворение яйца спермой, развитие эмбриона и рождение. Восемь анатомических схем, расположенных одна под другой, показывают внешнюю и внутреннюю анатомию человека. Последовательность заканчивается несколькими рисунками человеческих существ. Мы надеемся, что общий итог изучения этой части рисунков будет состоять в распознании существ, которые подготовили это послание.

После этого показаны фотографии различных пейзажей и ландшафтов: пустынь и гор, морских побережий и островов, горных массивов и рек. Затем идут изображения форм жизни на Земле, деревья и поля, коралловые рифы, насекомые и цветы, моллюски, дельфины, животные морских глубин. Эта последняя фотография — тонкая шутка наших радиоастрономов, которые предполагают, что радиопоиск внеземных сигналов можно вести в так называемой "водяной дыре", которая представляет собой полосу частот, лежащую между излучением водорода и ОН-радикала, — продуктов распада воды. Другая цель этой фотографии — подчеркнуть важность воды для жизни на нашей планете.

Мы опять возвращаемся к человеческим существам и показываем людей в различных ситуациях: фермеров из Гватемалы и Австралии; рабочих из Африки, Таиланда и Техаса; олимпийских бегунов (включая советского спринтера Валерия Борзова), танцора из балета и т.д.

Наш критерий выбора фотографий — ясность представления об определенной деятельности (такой, как работа, еда и т.д.) при учете ограниченности времени на подготовку послания и исходя из имеющихся фотографий. Один из нас играл роль инопланетянина и воображал, как можно неправильно понять рисунок. Сливаются ли фон? Можно ли определить размер? Достаточно ли количество пальцев, ушей, зубов? Изображены ли на рисунке трехмерная форма человека, его объем в пространстве? Мы решили эту проблему путем показа нескольких групп людей, сидящих в круге, из чего можно судить о форме человека. Показали ли мы, как мы выглядим в движении? Мы попытались решить эту проблему, включив фотографию американской гимнастки Кати Рижби в упражнении на бревне, которая была сделана стробоскопической камерой, поэтому ее движения прослеживались вдоль бревна. Мы сообщили время, которое необходимо

ей для проделывания упражнений, для того чтобы показать, что мы двигаемся за секунды, а не за миллисекунды или годы.

Поскольку человечество в настоящее время использует простую и сложную технологию, мы показали огромный диапазон деятельности. На одной фотографии ремесленник из Таиланда вырезает из дерева слона, в то время как на другой — рабочие управляют сложным оборудованием на сборке линии. Бушмен охотится за антилопой с помощью копья, и большой комбайн работает на хлопковых плантациях. Ряд фотографий демонстрирует хижины бедняков и Тадж-Махал. Идентичные фотографии небоскребов в Нью-Йорке днем и ночью показывают, что у нас бывает ночь и что мы освещаем наши города с наступлением темноты. Снята улица в Пакистане, где продемонстрирован широкий диапазон наземных транспортных средств: повозки, запряженные волами, велосипеды, мотоциклы и автомобили. Высокоразвитая техника представлена реактивными самолетами и радиотелескопами (Вестерборк и Аресибо), запуском ракеты "Титан-Центавр", который вывел на орбиту космический корабль "Вояджер", показан астронавт в космосе.

Самую большую часть послания "Вояджера" занимает музыка, поэтому мы решили завершить последовательность картин попыткой показать природу музыкального выражения. Мы показали на фотографии струнный квартет, скрипку и страницу нот. (Струнный квартет № 13 Бетховена). За этой фотографией следует запись музыкальных произведений.

Мы надеялись, что звук вибрирующей струны с ее характерными гармониками и обертонами будет ассоциирован с картиной людей, играющих на струнных инструментах. Простой характер музыкальных обозначений может дать внимательным внеземным существам возможность связать образ записанной музыки с ее графическим обозначением. Это укажет на то, что музыка составляет артефакт, созданный человеком, и что он включен в запись, потому что по некоторым причинам это важно для нас.

Будет ли это послание когда-нибудь найдено и расшифровано? Все, кто участвовал в создании записей, согласились, что шансов очень мало, так как космос очень велик и пуст, а космических путешественников очень мало. Но миллионы лет, за которые послание будет существовать, — очень большой промежуток времени, достаточно большой, чтобы каждому "Вояджеру" пересечь всю Галактику. Возможно, что какой-то более оснащенный звездный корабль "Вояджер" с очень большого расстояния. Если записи будут найдены, смогут ли они быть расшифрованы? Мы отдаем себе отчет в философском, умственном, семантическом и культурном богатстве нашего послания с Земли, но может случиться так, что даже развитая раса инопланетян не сможет понять ничего. С другой стороны, поскольку космический корабль "Вояджер" могут обнаружить существа, имеющие более высокий уровень развития, мы можем предположить, что они не только интеллектуальны, но и опыты. Если их опыт показал им различные пути познания Вселенной и если они очень захотят расшифровать послание, они смогут распознать наши намерения и получат изображение нашей планеты и нас самих. И даже если послания не будут найдены никогда, они послужили нам хорошим уроком в составлении и предугадывании посланий из космоса, если SETI когда-нибудь увенчается успехом.

<i>Л.М. Ерухимов.</i> Влияние условий распространения радиоволн в межзвездной среде на сигналы внеземных цивилизаций . . . . .	144
<i>Н.Т. Петрович.</i> Межзвездная связь с помощью относительных методов передачи сигналов . . . . .	152
<i>М. Суботович, З. Папротный.</i> Необычные и немикроволновые методы SETI и SETI . . . . .	161
<i>Дж. Тартер.</i> Обзор экспериментальных исследований по поиску сигналов ВЦ в радио- и оптическом диапазонах . . . . .	170

## СОДЕРЖАНИЕ

Преамбула . . . . .	3
<b>ОБЩИЕ ВОПРОСЫ ВОЗНИКНОВЕНИЯ И РАЗВИТИЯ ЖИЗНИ ВО ВСЕЛЕННОЙ</b>	
<i>В.С. Троицкий.</i> Научные основания проблемы существования и поиска внеземных цивилизаций . . . . .	5
<i>И.С. Шкловский.</i> Замечания о частоте встречаемости внеземных цивилизаций . . . . .	21
<i>Н.С. Кардашев.</i> О неизбежности и возможных формах сверхцивилизаций . . . . .	25
<i>К.К. Ребане.</i> Сигнализация между цивилизациями и охрана среды обитания . . . . .	30
<i>И.Д. Новиков, А.Г. Полнарев, И.Л. Розенталь.</i> Численные значения фундаментальных постоянных и антропный принцип . . . . .	36
<i>Л.С. Марочник, Л.М. Мухин.</i> Галактический "пояс жизни" . . . . .	41
<i>В. Страйжис.</i> Некоторые астрономические явления как возможный результат деятельности высокоразвитых цивилизаций . . . . .	47
<i>В.С. Стрельницкий.</i> Необходимость и случайность в структурной эволюции вещества во Вселенной . . . . .	50
<i>В.В. Казютинский.</i> Общие закономерности эволюции и проблема внеземных цивилизаций . . . . .	54
<i>Б.Н. Пяновкин.</i> Принципы самоорганизации и проблема происхождения жизни во Вселенной . . . . .	60
<i>А.Д. Урсуп.</i> Закономерности развития и взаимодействия внеземных цивилизаций (социально-философские гипотезы) . . . . .	63
<i>Э.С. Маркарян.</i> Проблема внеземных цивилизаций и глобальное моделирование . . . . .	68
<i>Г. Маркс.</i> Проблема одновременности . . . . .	74
<i>М.В. Волькенштейн.</i> Биологическая эволюция и теория информации . . . . .	81
<i>К.П. Гладиллин.</i> Предбиологическая эволюция и определяющие ее факторы . . . . .	85
<i>В.И. Иванов.</i> Детерминирован или случаен генетический код? . . . . .	91
<i>М.Д. Нусинов, К.Б. Серебровская.</i> Роль капельно-жидкой воды в происхождении жизни на Земле . . . . .	98
<i>И.М. Крейн.</i> Контакт "разумных" систем . . . . .	104
<i>О.А. Чукреева.</i> Об одном уровне построения языков-посредников . . . . .	110

## МЕТОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ ПОИСКА РАЗУМНОЙ ЖИЗНИ ВО ВСЕЛЕННОЙ

<i>Л.М. Гиндилис.</i> Пути поиска внеземных цивилизаций . . . . .	116
<i>Л.В. Лесков.</i> О системном подходе к проблеме космических цивилизаций . . . . .	123
<i>Л.Н. Никишин.</i> К вопросу о разработке стратегии поиска сигналов искусственного происхождения из космоса . . . . .	130
<i>В.М. Цуриков.</i> Проблема SETI и закономерности развития технических систем . . . . .	136
<i>Г.Л. Сучкин, Ю.В. Токарев, Л.Г. Лукьянов, Г.И. Ширмиц.</i> Лагранжевы точки в проблеме поиска внеземных цивилизаций . . . . .	138

## ПЕРСПЕКТИВЫ И ПРОГРАММЫ

<i>Г.С. Царевский.</i> Космическая радиоастрономия как инструмент SETI . . . . .	183
<i>Л.В. Ксанфомалити.</i> Поиск планетных систем у ближайших звезд и проблема SETI . . . . .	187
<i>Ю.В. Александров, В.А. Захожай.</i> Существование планетных систем в Галактике и проблемы их поиска . . . . .	201
<i>Г.Л. Сучкин.</i> О возможном направлении поиска планет в системе звезды . . . . .	210
<i>М.Я. Маров, У.Н. Закиров.</i> О проекте полета космического зонда к планетной системе звезды . . . . .	215
<i>Дж. Тартер.</i> "Космический стог сена" и современные программы SETI в США . . . . .	220
<i>Р.С. Диксон.</i> Состояние программы SETI Огайского университета . . . . .	225
<i>В.С. Троицкий.</i> Программа поиска внеземных цивилизаций . . . . .	227
<i>В.Ф. Шварцман.</i> Поиск внеземных цивилизаций — проблема астрофизики или культуры в целом? . . . . .	230
<i>В.В. Рубцов.</i> Некоторые результаты наукометрического анализа литературы по проблеме внеземных цивилизаций . . . . .	236
<i>Дж. Ломберг.</i> Межзвездное послание "Вояджера" . . . . .	242

УДК 524.8.

**Троицкий В.С. Научные основания проблемы существования и поиска Внеземных цивилизаций.** — В кн.: Проблема поиска жизни во Вселенной. М.: Наука, 1986.

В работе обосновываются новые теоретические концепции возникновения жизни и закономерностей развития внеземных цивилизаций на астрономических интервалах времени, которые приводят к выводам, лучше согласующимся с имеющимися наблюдательными данными.

Ил. 2, табл. 3, библиогр. 12 назв.

УДК 008:523.07

**Шкловский И.С. Замечания о частоте встречаемости внеземных цивилизаций.** — В кн.: Проблема поиска жизни во Вселенной. М.: Наука, 1986.

Приводятся аргументы в пользу гипотезы о возможной уникальности разумной земной жизни во Вселенной и соображения о месте человека в биологической иерархии.

УДК 523.164.42

**Кардашев Н.С. О неизбежности и возможных формах сверхцивилизаций.** — В кн.: Проблема поиска жизни во Вселенной. М.: Наука, 1986.

Предполагается, что среди наблюдаемых астрономических объектов должны существовать такие, которые связаны с разумной деятельностью. Обсуждаются возможные признаки и особенности таких объектов.

Табл. 1, библиогр. 10 назв.

УДК 008:523.07

**Рибане К.К. Сигнализация между цивилизациями и охрана среды обитания.** — В кн.: Проблема поиска жизни во Вселенной. М.: Наука, 1986.

Проблема СЕТИ последовательно рассматривается с точки зрения первого и второго начал термодинамики. Выявляется ее связь с охраной окружающей среды. Обсуждаются возможные пути обнаружения внеземных цивилизаций и его ценность для человечества.

Библиогр. 6 назв.

УДК 100.27:576.11+523.12:523.07

**Новиков И.Д., Полнарев А.Г., Розенталь И.Л. Численные значения фундаментальных постоянных и антропный принцип.** — В кн.: Проблема поиска жизни во Вселенной. М.: Наука, 1986.

Отмечается невозможность существования сложных структур и тем более живых организмов, если фундаментальные постоянные сравнительно немного отличаются от имеющихся значений (неустойчивость структур во Вселенной по отношению к вариациям фундаментальных постоянных). Формулируется проблема поиска множества параметров ("островов устойчивости"), описывающих Вселенную, которые допускают возникновение сложных структурных образований.

Ил. 1, табл. 1, библиогр. 13 назв.

УДК 523.07+523.11+576.15

**Марочник Л.С., Мухин Л.М. Галактический "пояс жизни".** — В кн.: Проблема поиска жизни во Вселенной. М.: Наука, 1986.

Обосновывается гипотеза, согласно которой технологические цивилизации нашего типа могут возникать в Галактике в "поясе жизни" — узкой кольцевой зоне, включающей в себя галактическую орбиту Солнца. Эта зона находится в специальных условиях, так как по ней проходит коротационный круг — выделенная область Галактики.

Ил. 1, табл. 1, библиогр. 24 назв.

УДК 523.164.42

**Страйжис В. Некоторые астрономические явления как возможный результат деятельности высокоразвитых цивилизаций.** — В кн.: Проблема поиска жизни во Вселенной. М.: Наука, 1986.

Приводится обзор астрономических объектов и явлений, которые могут интерпретироваться как результат деятельности высокоразвитых цивилизаций, отмечаются трудности их естественнонаучного объяснения.

УДК 576.12

**Стрельницкий В.С. Необходимость и случайность в структурной эволюции вещества во Вселенной.** — В кн.: Проблема поиска жизни во Вселенной. М.: Наука, 1986.

Приводятся доводы в пользу того, что биологическая эволюция являлась лишь этапом общей прогрессивной эволюции определенной части вещества во Вселенной.

Табл. 1, библиогр. 14 назв.

УДК 100.27+523.07

**Казютинский В.В. Общие закономерности эволюции и проблема внеземных цивилизаций.** — В кн.: Проблема поиска жизни во Вселенной. М.: Наука, 1986.

Обсуждается взаимосвязь между целостными свойствами нашей эволюционирующей Вселенной и возникновением условий, в которых стало возможным существование человечества, а также, в частности, антропный принцип.

Библиогр. 12 назв.

УДК 576.1

**Пановкин Б.Н. Принципы самоорганизации и проблема происхождения жизни во Вселенной.** — В кн.: Проблема поиска жизни во Вселенной. М.: Наука, 1986.

Критикуется традиционный подход к проблеме возникновения внеземной жизни, основанный на экстраполяции модели возникновения жизни на Земле. Развивается альтернативный, кибернетический подход, связанный с выявлением общих закономерностей зарождения самоорганизующихся систем. Основной вывод: приспособление самоорганизующейся системы к окружающей среде в определенном смысле есть создание своей уникальной среды, что делает смысловой контакт между цивилизациями проблематичным.

Библиогр. 3 назв.

УДК 129:008/524.8

**Урсул А.Д. Закономерности развития взаимодействия внеземных цивилизаций (социально-философские гипотезы).** — В кн.: Проблема поиска жизни во Вселенной. М.: Наука, 1986.

Обсуждается необходимость распространения возможных инвариантных положений марксистской теории исторического процесса на проблему развития ВЦ, их закономерностей, связей и взаимодействий между ними.

Библиогр. 6 назв.

УДК 129:008/524.8

**Маркарян Э.С. Проблема внеземных цивилизаций и глобальное моделирование.** — В кн.: Проблема поиска жизни во Вселенной. М.: Наука, 1986.

Задачи космологии культуры выдвигают весьма серьезные методологические проблемы. Решение этих проблем, оказавшееся необходимым логическим звеном в построении общей теории культуры, может и должно быть непосредственно увязано с важными и насущными земными задачами.

Библиогр. 8 назв.

УДК 008:524.8

**Маркс Г. Проблема одновременности.** — В кн.: Проблема поиска жизни во Вселенной. М.: Наука, 1986.

Известная формула Дрейка для возможного числа независимых цивилизаций в Галактике обсуждается с привлечением новых гипотез (Гея и др.). Ил. 3, табл. 1.

УДК 523.07

В о л ь к е н ш т е й н М.В. Биологическая эволюция и теория информации. — В кн.: Проблема поиска жизни во Вселенной. М.: Наука, 1986.

Рассматриваются возможности информационного подхода к эволюционным процессам биологии и неживой природе.

УДК (576.11+576.17):523.164

Г л а д и л и н К.Л. Предбиологическая эволюция и определяющие ее факторы. — В кн.: Проблема поиска жизни во Вселенной. М.: Наука, 1986.

Рассматриваются основные возможные этапы и факторы предбиологической эволюции и возможные подходы к оценке вероятности возникновения жизни на планетах земного типа.

Табл. 1, библиогр. 26 назв.

УДК 523.07

И в а н о в В.И. Детерминирован или случаен генетический код? — В кн.: Проблема поиска жизни во Вселенной. М.: Наука, 1986.

Аргументируется тезис, что нынешний генетический код — не случаен. Но не потому, что есть структурное соответствие между тройками нуклеотидов и аминокислотами. Генетический код не случаен по историческим причинам, поскольку произошел от более примитивного кода, в котором такое соответствие есть и который сохранился в виде реликта в современных белково-нуклеиновых комплексах. (Например, белок-кодаза и тРНК.)

Поскольку в основе белково-нуклеиновой жизни на других планетах должно лежать то же самое стереохимическое соответствие, то наследники этого кода — генетические коды, будут иметь общие черты, хотя и не обязаны быть тождественными.

Гипотеза аргументируется при помощи механизма образования диалектов генетического кода, найденных недавно на Земле в клеточных органеллах — митохондриях.

Ил. 9, библиогр. 7 назв.

УДК 532.783.754/578:61

Н у с и н о в М.Д., С е р е б р о в с к а я К.Б. Роль капельно-жидкой воды в происхождении жизни на Земле. — В кн.: Проблема поиска жизни во Вселенной. М.: Наука, 1986.

Предложена качественная модель начальной физико-химической стадии биологической эволюции. За платформу зарождения жизни принимаются зерна реголита примитивной Земли.

Появление капельно-жидкой воды в зернах реголита послужило, по-видимому, тем пусковым механизмом, который инициировал спонтанные каталитические процессы, приведшие к самоорганизации первичных эволюционирующих глинистых систем, положив тем самым начало перехода от химической к биологической эволюции.

Ил. 1, библиогр. 46 назв.

УДК 007 (800.1+001.51)

К р е й н И.М. Контакт "разумных" систем. — В кн.: Проблема поиска жизни во Вселенной. М.: Наука, 1986.

Излагаются некоторые положения, теории контакта "разумных" систем определенного класса, разрабатываемой автором в течение ряда лет.

Табл. 1, библиогр. 8 назв.

УДК 008:524.8+523.164

Ч у к р е е в Ю.А. Об одном уровне построения языков-посредников. — В кн.: Проблема поиска жизни во Вселенной. М.: Наука, 1986.

Работа посвящена семантическому аспекту проблемы языков-посредников в рамках теории контакта "разумных" систем.

Ил. 1, табл. 1, библиогр. 9 назв.

УДК 523.07+523.164

Г и н д и л и с Л.М. Пути поиска внеземных цивилизаций. — В кн.: Проблема поиска жизни во Вселенной. М.: Наука, 1986.

Дан обзор методов и направлений поиска ВЦ. Обсуждаются поиски радио- и оптических сигналов, "экзотические" типы связи, возможность существования каналов неизвестной природы, межзвездных перелетов и др.

Ил. 1, библиогр. 18 назв.

УДК 008:523.07

Л е с к о в Л.В. О системном походе к проблеме космических цивилизаций. — В кн.: Проблема поиска жизни во Вселенной. М.: Наука, 1986.

Значение системного подхода для исследований по проблеме SETI состоит в том, что он позволяет изучать наиболее общие закономерности эволюции космических цивилизаций независимо от их реального множества.

Табл. 1, библиогр. 9 назв.

УДК 523.07+523.164

Н и к и ш и н Л.Н. К вопросу о разработке стратегии поиска сигналов искусственного происхождения из космоса. — В кн.: Проблема поиска жизни во Вселенной. М.: Наука, 1986.

Делается вывод о необходимости соответствующей организации межзвездной связи и возможном существовании в Галактике системы организованной связи. Указывается на необходимость разработки одной из стратегий поиска космических цивилизаций, исходя из этой предпосылки.

Ил. 2, библиогр. 11 назв.

УДК 523.164+621.396.946

Ц у р и к о в В.М. Проблема СЕТИ и закономерности развития технических систем. — В кн.: Проблема поиска жизни во Вселенной. М.: Наука, 1986.

Для решения проблемы критериев искусственности позывных внеземных цивилизаций предлагается использовать законы развития технических и других искусственных систем. Формулируется принцип запрета в космических позывных, согласно которому позывные сигналы внеземных цивилизаций должны сопровождаться сигналом запрета, затрудняющим естественноприродное объяснение искусственных сигналов. Рассматривается многоуровневая структура позывных с комплексным критерием искусственности.

Анализируется возможность использования управляющих сигналов контакта, предназначенных для формирования у субъекта психологической установки на принятие верного решения относительно характера источника позывных сигналов.

Библиогр. 5 назв.

УДК 523.07:521.135

С у ч к и н Г.Л., Т о к а р е в Ю.В., Л у к ь я н о в Л.Г., Ш и р м и н Г.И. Лагранжевы точки в проблеме поиска внеземных цивилизаций. — В кн.: Проблема поиска жизни во Вселенной. М.: Наука, 1986.

Возможность присутствия в лагранжевых точках планетных и спутниковых орбит естественных и искусственных тел приводит к необходимости радионаблюдений в системе Земля—Луна. Описывается специальный эксперимент и обсуждаются его отрицательные результаты.

Библиогр. 21 назв.

УДК 523.164+008.523.07

Е р у х и м о в Л.М. Влияние условий распространения радиоволн в межзвездной среде на сигналы внеземных цивилизаций. — В кн.: Проблема поиска жизни во Вселенной. М.: Наука, 1986.



Рассмотрены эффекты, влияющие на искажения радиосигналов, распространяющихся в межзвездной среде, межпланетной плазме и атмосферах планет. Приведены оценки предельных параметров сигнала, для которых влияние среды распространения при приеме сигналов от внеземной цивилизации можно пренебречь. Отмечается возможность использования космическими корреспондентами окружающей среды для усиления передаваемых радиосигналов.

Ил. 7, библиогр. 12 назв.

УДК 523.164+008:523.07

Петрович Н.Т. **Межзвездная связь с помощью относительных методов передачи сигналов.** — В кн.: Проблема поиска жизни во Вселенной. М.: Наука, 1986.

Показано, что медленная периодическая модуляция монохроматического сигнала на передаче существенно облегчает его обнаружение на приеме.

Наиболее "дальнобойным" в этом случае может быть сигнал при совместном использовании абсолютного и относительного метода передачи. Частоту медленного периодического процесса для облегчения "догадки" на приеме целесообразно выбирать кратной частоте излучения водорода — 1420 Гц (при относительной фазовой манипуляции) и 142; 14,2; 1,42... Гц при частотной манипуляции.

Ил. 6, библиогр. 8 назв.

УДК 523.07

Суботовицкий, Папротный З. **Необычные и немикроволновые методы SETI и SETI** — В кн.: Проблема поиска жизни во Вселенной. М.: Наука, 1986.

Осуществлена классификация всех известных методов обнаружения внеземных цивилизаций, дано их краткое описание.

Библиогр. 37 назв.

УДК 523.164+008:523.07

Тартер Дж. **Обзор экспериментальных исследований по поиску сигналов ВЦ в радио- и оптическом диапазонах.** — В кн.: Проблема поиска жизни во Вселенной. М.: Наука, 1986.

Приводится хронологическая таблица всех попыток (радио, оптика) обнаружения внеземных цивилизаций.

Табл. 1, библиогр. 24 назв.

УДК 520.876+523.164

Царевский Г.С. **Космическая радиоастрономия как инструмент SETI.** — В кн.: Проблема поиска жизни во Вселенной. М.: Наука, 1986.

Вынос радиотелескопа в космос значительно повышает потенциал радиоастрономических исследований и соответственно возможности SETI. В условиях невесомости и вне атмосферы улучшаются основные параметры наблюдений: чувствительность, угловое разрешение, спектральный диапазон, а также стоимость систем. Рассмотрены варианты построения интерферометров с использованием космических радиотелескопов.

Библиогр. 22 назв.

УДК 523.40+523.164

Санфонти Л.В. **Поиск планетных систем у ближайших звезд и проблема SETI** — В кн.: Проблема поиска жизни во Вселенной. М.: Наука, 1986.

В статье рассмотрены перспективы поиска планетных систем у других звезд. Проблема рассматривается в трех аспектах: SETI, планетологическом и методическом, ограниченном оптическими методами. Показано, что в отношении поиска обитаемых планет системы карликовых звезд поздних классов не представляют интереса. Рассматриваются следующие методические возможности поиска планетных систем оптическими методами: астрометри-

ческий, доплеровский (радиальные скорости), фотометрический и радиометрический, затменный.

Ил. 4, табл. 4, библиогр. 31 назв.

УДК 52 (03) ; 52 (07) ; 52 (02) ; 52 (05) ; 52:378

Александров Ю.В., Захожай В.А. **Существование планетных систем в Галактике и проблемы их поиска.** — В кн.: Проблема поиска жизни во Вселенной. М.: Наука, 1986.

Делается обзор публикаций по проблеме поиска внесолнечных планет. Табл. 1, библиогр. 60 назв.

УДК 523.8:523.4

Сучкин Г.Л. **О возможном направлении поиска планет в системе звезды.** — В кн.: Проблема поиска жизни во Вселенной. М.: Наука, 1986.

Обсуждается возможность поиска внесолнечных планет по периодической звездной активности, аналогичной солнечной. Если удастся показать, что эта переменная активность обусловлена наличием планет, — возникает эффективный метод поиска планет в системе звезды.

Библиогр. 13 назв.

УДК 530.12:531.18

Маров М.Я., Закиров У.Н. **О проекте полета космического зонда к планетной системе звезды.** — В кн.: Проблема поиска жизни во Вселенной. М.: Наука, 1986.

Предлагается проект беспилотного космического зонда с научной аппаратурой, предназначенной для изучения физических характеристик межзвездного и околозвездного пространства, исследования планетных систем ближайших звезд и поиска сигналов искусственного происхождения. Проект обосновывается возможностью создания перспективного двигателя, в котором используется периодический термоядерный взрыв микромишени с помощью лазера или электронного пучка, выбором ракетной системы с оптимальным числом ступеней и дозаправкой в процессе полета, а также оценками параметров канала радиосвязи.

Ил. 1, библиогр. 8 назв.

УДК 008:523.07+523.164

Тартер Дж. **"Космический стог сена" и современные программы SETI в США.** — В кн.: Проблема поиска жизни во Вселенной. М.: Наука, 1986.

Поиск внеземных цивилизаций уподобляется поиску иголки в стоге сена. Определяется "космический стог" в пространстве поиска и его условное изображение в трехмерном пространстве. Показано, что к настоящему времени осмотрено лишь  $10^{-11}$  его объема. Обсуждаются главные направления программы США по резкому увеличению просмотренного объема пространства поиска.

Ил. 4.

УДК 008:523.07+523.164

Диксон Р.С. **Состояние программы SETI Огайского университета.** — В кн.: Проблема поиска жизни во Вселенной. М.: Наука, 1986.

Описывается состояние, организация и перспективы систематического проведения программы SETI в Огайском университете.

УДК 523.07+523.164.42

Троицкий В.С. **Программа поиска внеземных цивилизаций.** — В кн.: Проблема поиска жизни во Вселенной. М.: Наука, 1986.

Излагаются основные моменты советской программы поиска сигналов внеземных цивилизаций на ближайшие годы.

Библиогр. 6 назв.

УДК 008:523.07

**Шварцман В.Ф. Поиск внеземных цивилизаций — проблема астрофизики или культуры в целом? — В кн.: Проблема поиска жизни во Вселенной. М.: Наука, 1986.**

Высказывается мнение, согласно которому сигналы внеземных цивилизаций нами уже принимаются. Далее аргументируется, что осознание каких-либо космических сигналов как целенаправленных передач возможно лишь при использовании представлений всей человеческой культуры, а не только науки. Обсуждаются достоинства в плане контакта таких долговечных и многоуровневых компонентов культуры, как искусство и игра.

Библиогр. 4 назв.

УДК 523.07+523.164 (01)

**Рубцов В.В. Некоторые результаты наукометрического анализа литературы по проблеме внеземных цивилизаций. — В кн.: Проблема поиска жизни во Вселенной. М.: Наука, 1986.**

Работа посвящена предварительному наукометрическому анализу литературы по проблеме поиска внеземных цивилизаций. Рассмотрена динамика массива публикаций, продуктивность авторов и источников. Делаются выводы об особенностях современного этапа изучения этой проблемы.

Ил. 3, табл. 2, библиогр. 7 назв.

УДК 70:523.07

**Ломберг Дж. Межзвездное послание "Вояджера". — В кн.: Проблема поиска жизни во Вселенной. М.: Наука, 1986.**

Излагаются мотивы и соображения, определившие форму и содержание послания, помещенного на борту космического корабля "Вояджер".