

50 лет SETI/SETI

(доклад на семинаре 11 декабря 2009 года)

Г.М. Рудницкий

Государственный астрономический институт имени П.К. Штернберга

Резюме

В сентябре 2009 года исполняется 50 лет со времени выхода в свет в английском журнале «Nature» исторической работы Дж. Коккони и Ф. Моррисона «Поиск межзвёздных коммуникаций», в которой впервые с научной точки зрения была рассмотрена возможность поиска радиосигналов внеземных цивилизаций. За минувшие полвека была проделана большая работа, в основном силами радиоастрономов, в попытках, до сих пор тщетных, выловить из космических шумов позывные внеземного разума. Рассмотрены основные этапы поиска и перспективы будущих исследований.

Проблема внеземных цивилизаций (ВЦ) – это проблема изучения жизни и разума во Вселенной. Часть этой широкой проблемы составляет поиск внеземных цивилизаций, внеземного разума, по-английски, Search for

Extra-Terrestrial Intelligence, или сокращенно SETI.

Практически в настоящее время для поиска используется лишь один канал связи – с помощью электромагнитных волн. Он включает в себя поиск радиосигналов, а также сигналов в инфракрасном, оптическом и рентгеновском диапазонах.

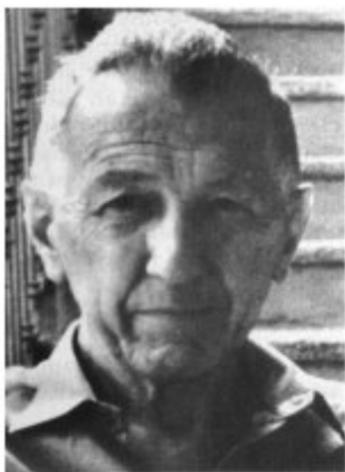


Рис .1. Джузеппе Коккони (1914–2008), физик итальянского происхождения, работал в США, затем был директором Центра

Начало SETI. Проект OZMA

В 1959 г. ученые-физики, работавшие в то время в Корнелльском университете (США), Джузеппе Коккони и Филип Моррисон проанализировали возможности радиосвязи с

обитателями планетных систем ближайших звезд и показали, что если они посылают в сторону Солнечной системы радиосигналы, используя близкую к нашей технику связи, то мы при наших средствах способны обнаружить их сигналы [1]. Это стимулировало начало работ по поиску сигналов ВЦ. Оставался еще один важный вопрос – на какой частоте в радиодиапазоне искать предполагаемый сигнал ВЦ?

Коккони и Моррисон высказали предположение, что такой частотой должна быть частота спектральной радиолинии водорода 1420 МГц (длина волны 21 см). По их мнению, радиолиния водорода – это созданный самой природой уникальный эталон частоты. Поэтому все цивилизации, не сговариваясь, выберут её для установления связи. Кроме того, водород – это самый распространённый элемент во Вселенной. Исследования на волне 21 см дают очень ценные сведения о строении Галактики, о распределении межзвёздного газа в ней. Отсюда следует, что любая цивилизация, занимающаяся изучением Космоса, даже если она не помышляет о межзвёздной связи, рано или поздно, обнаружив радиолинию водорода, несомненно, начнет вести наблюдения на частоте этой линии. Значит, если в этом диапазоне передавать сигналы межзвёздной связи, они могут быть обнаружены в процессе обычных радиоастрономических наблюдений.

В то время как Коккони и Моррисон пытались привлечь внимание английских коллег к этой проблеме и убедить их начать поиск сигналов, в США, в Национальной радиоастрономической обсерватории (НРАО), уже велась подготовка к приёму радиосигналов от внеземных цивилизаций на волне 21 см. Проект получил название OZMA по имени принцессы из книги американского писателя Лаймана Фрэнка Баума «Удивительный Волшебник

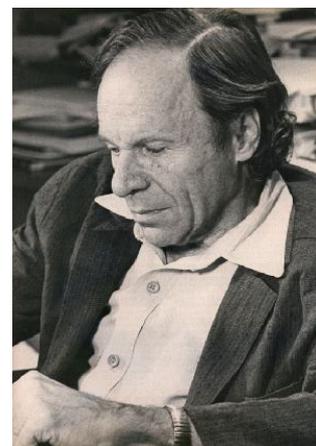


Рис. 2. Филип Моррисон (1915–2005), американский физик, участвовал в Манхэттенском проекте создания ядерной бомбы, после атомной бомбардировки Хиросимы стал активным борцом за ядерное

из Страны Оз» (в нашей стране более известно переложение книги А. Волковым под названием «Волшебник Изумрудного города»). В НРАО и были проведены первые эксперименты по поиску сигналов ВЦ. К весне 1960 г. группа под руководством молодого радиоастронома Фрэнка Дрейка закончила изготовление приёмника на волну 21 см. Приёмник был установлен на радиотелескопе диаметром 26 м (по тому времени довольно крупном). Для поиска сигналов были выбраны две звезды солнечного типа τ Кита и ϵ Эридана, расположенные на расстоянии около 11 световых лет от Солнца. Первые наблюдения были проведены в апреле. 1960 г.

Во время выполнения проекта OZMA произошел один драматический эпизод, о котором стоит упомянуть. В один из дней, когда звезда τ Кита появилась над горизонтом, самописцы зарегистрировали мощный периодический сигнал, он отчетливо был слышен и через громкоговоритель. Наблюдатели были настолько ошеломлены, что не догадались отвести антенну от звезды. Вскоре сигнал прекратился. Но когда на следующий день он появился вновь, все уже были готовы: антенну отвели от звезды, а сигнал продолжал звучать. Значит, он никак не был связан со звездой – это земная помеха. Впоследствии был установлен источник сигнала – новый армейский радиолокатор.

Эксперимент по проекту OZMA продолжался около трёх месяцев. Если бы в течение этого времени с одной из звёзд, в тот момент, когда на неё был направлен радиотелескоп, был послан сигнал в сторону Солнечной системы на частоте 1420,4 МГц с полосой не более 100 Гц и эффективной мощностью 10^{13} Вт (что соответствует передатчику мощностью 1 МВт, работающему на антенну диаметром 200 м), то такой сигнал был бы обнаружен. Но этого не произошло. Радиотелескоп был нужен для выполнения других программ, и эксперимент по проекту OZMA пришлось приостановить.

В начале 1961 г. Фрэнк Дрейк опубликовал ставшее потом знаменитым «уравнение Дрейка». Это формула для оценки вероятного числа цивилизаций

в Галактике, с которыми можно было бы установить контакт. Формула выглядит так:

$$N = R^* f_p n_e f_l f_i f_c L.$$

Здесь N — количество цивилизаций в нашей Галактике, чьи электромагнитные сигналы можно обнаружить;

R^* — количество рождающихся в Галактике за 1 год звёзд, возле которых может возникнуть разумная жизнь;

f_p — доля звёзд с планетными системами;

n_e — число планет в планетной системе, на которых могут наличествовать подходящие для зарождения жизни условия.

f_l — доля планет, подходящих для жизни, на которых она действительно возникла;

f_i — доля обитаемых планет, на которых зарождается разумная жизнь;

f_c — доля цивилизаций, обладающих технологиями, позволяющими отправить в космос сигналы, различимые другими цивилизациями;

L — временной промежуток, в котором цивилизация отправляет такой сигнал в космос.

Формула Дрейка включает в себя величину R^* — скорость звездообразования, число возникших за 1 год в Галактике звёзд, около которых могут существовать пригодные для жизни планеты. Эта величина может быть определена астрофизическими методами. По современным оценкам, R^* порядка 1 звезды в год. Далее следует произведение чисел, которые характеризуют вероятности различных событий, связанных с возникновением и развитием жизни на планетах вплоть до стадии технологически развитой цивилизации — развитой настолько, что она способна установить контакт с другими цивилизациями. Наконец, величина L — время, которое цивилизация находится в этой развитой технологической стадии.

В то время, когда Дрейк составил свое уравнение, все эти величины были совершенно неопределёнными. Большинство их остаётся таковыми по

сей день. Причина этого в том, что нам пока известна лишь одна цивилизация в Галактике – наша собственная. Таким образом, нижний предел числа N – единица. Достаточно спекулятивные оценки разных авторов давали число N от нескольких единиц до нескольких миллионов. Впрочем, о достоверности таких данных было трудно судить. Даже не было ничего известно о существовании планет у других звёзд. Однако в последние годы сделаны замечательные открытия: обнаружены планетные системы почти у трех сотен звёзд. Среди них пока не найдено планет, полностью похожих на нашу Землю, но можно не сомневаться, что в ближайшее время такие планеты будут найдены. Это позволит снять неопределённость хотя в некоторых параметрах формулы Дрейка (f_p , n_e , f_i). О других вероятностях в формуле Дрейка пока судить трудно. Это проблема не столько астрономии, сколько биологии, социологии, вообще науки о цивилизации в целом. Далее мы ещё вернёмся к формуле Дрейка и расскажем о некоторых новых оценках, сделанных на её основе.

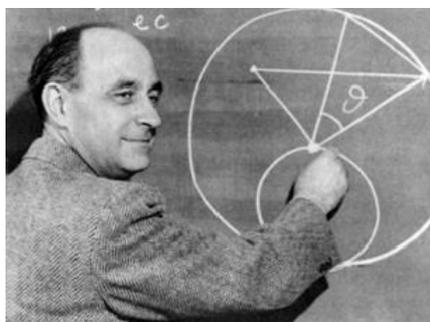


Рис. 4. Энрико Ферми (1901–1954).

Любопытно отметить интерес, проявленный к проблеме ВЦ именно физиками-ядерщиками. За несколько лет до статьи Коккони и Моррисона [1] и первого SETI-эксперимента OZMA на эту проблему обратил внимание знаменитый Энрико Ферми. В частной беседе он как бы мимоходом сформулировал идею, получившую впоследствии название «парадокса Ферми»: если цивилизаций во Вселенной много, то где они все? Действительно, ответ на поставленный вопрос не так прост, как кажется. Существует множество причин, почему, несмотря на все усилия, так и не удалось обнаружить признаков разумной жизни на других планетах. Пессимистическая точка зрения состоит в том, что жизнь вообще, в том числе разумная – крайне редкое явление, вплоть до того, что наша цивилизация – единственная в нашей Галактике и чуть ли не во всей

Вселенной. Более мягкий вариант: других цивилизаций всё же много, но не все достигают достаточно развитой технологии, чтобы установить контакт с

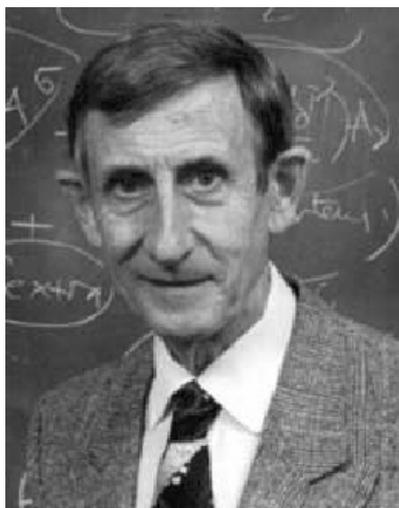
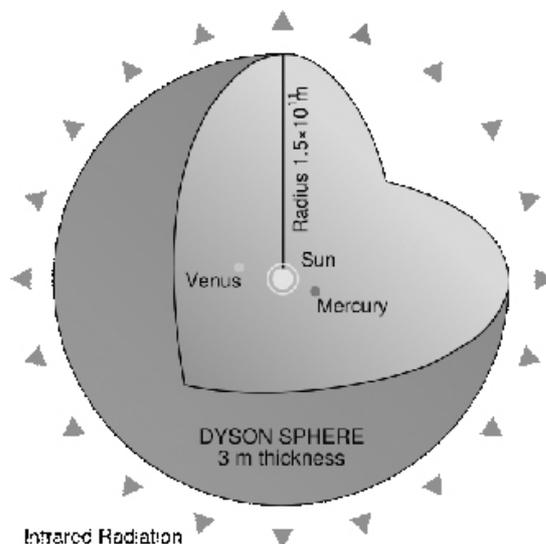


Рис. 5а. Фримен Дайсон (р. 1923).

«братьями по разуму»; время жизни цивилизации в технологической стадии коротко; контакты с другими цивилизациями им вообще неинтересны или кажутся опасными, и т. д. Так или иначе, парадокс Ферми до сих пор остаётся нерешённым.

Свой вклад в тему SETI внёс и американский физик-теоретик Фримен Дайсон. Он предположил, что развитая цивилизация, которая потребляет большое количество энергии, может построить вокруг своей звезды огромную сферу («сферу Дайсона») радиусом порядка астрономической единицы (150 млн км), используя для этого материал всех планет своей системы. Такая сфера будет перехватывать всё излучение звезды, которое можно использовать для нужд цивилизации. Для внешнего наблюдателя сфера будет экранировать видимое излучение звезды. Однако сферу можно наблюдать как источник инфракрасного излучения, температура которого соответствует примерно 300 Кельвинам.



Начало SETI в нашей стране

В начале 1960-х годов проблемой поиска внеземных цивилизаций заинтересовались советские учёные. Первым, кто обратил на нее внимание, был выдающийся астрофизик Иосиф Самуилович Шкловский. В 1960 г. он опубликовал в журнале «Природа» статью «Возможна ли связь с разумными существами других планет?» [2], а в 1962 г. вышла его книга «Вселенная, жизнь, разум» [3]. Она сыграла очень большую роль в развитии исследований по поиску внеземного разума, как у нас в стране, так и за рубежом. В расширенном варианте эта книга в соавторстве с известным американским астрономом Карлом Саганом вышла на английском языке под названием «Разумная жизнь во Вселенной» [4]. Последнее, 7-е издание книги «Вселенная, жизнь, разум» было опубликовано в 2006 г., 21 год спустя после смерти И.С. Шкловского, но книга и сейчас сохраняет своё значение.



Рис. 6а. Основоположник исследований в области SETI в нашей стране член-корреспондент АН СССР И.С. Шкловский (1916–1985).



Рис. 7. Академик РАН Н.С. Кардашев.

Шкловский всегда живо обсуждал научные проблемы со своими учениками и коллегами. Он умел увлекать идеями и заражать энтузиазмом. Ближайший ученик Шкловского Николай Семёнович Кардашёв увлёкся проблемой связи с внеземными цивилизациями и выдвинул очень важные идеи в этой области. Впоследствии он стал академиком и одним из признанных мировых лидеров в проблеме ВЦ. Свои идеи Кардашёв изложил в статье «Передача информации внеземными цивилизациями» [5]. Кардашёв считал, что при поиске внеземных цивилизаций надо ориентироваться не на цивилизации нашего уровня, а на высокоразвитые цивилизации, технический уровень которых

намного превосходит уровень нашей земной цивилизации. Кардашёв разделил все цивилизации на три типа. К первому он отнёс цивилизации с уровнем энергопотребления порядка 10^{13} Вт, что близко к уровню нашей цивилизации; ко II типу он отнес цивилизации с уровнем энергопотребления порядка 10^{26} Вт, то есть порядка мощности, излучаемой звёздами типа Солнца (вспомним «сферу Дайсона»); и, наконец, к III типу он отнёс цивилизации с уровнем энергопотребления 10^{37} Вт, равным суммарному излучению всех звёзд Галактики.

Расчёты показали, что цивилизации II и III типов, обладая такой гигантской мощностью, могут вести всенаправленную передачу сигналов (то есть сразу по всем направлениям в пространстве) в очень широкой полосе частот (что значительно облегчает их поиск), и при этом сигналы могут быть обнаружены с помощью нашей современной техники на очень больших расстояниях – для цивилизаций II типа всюду в пределах Галактики, или даже в соседних галактиках, а для цивилизаций III типа – всюду в пределах наблюдаемой области Вселенной. Конечно, надо было определить оптимальный диапазон связи и решить множество других вопросов, но, в целом, перспективы казались хорошими.

В мае 1964 г. в Бюраканской астрофизической обсерватории в Армении собрались астрономы, радиофизики, специалисты по космической связи и учёные других специальностей. Это было первое Всесоюзное совещание по проблеме поиска внеземных цивилизаций. Совещание пришло к выводу, что проблема контакта с внеземными цивилизациями является важной и актуальной научной проблемой, необходимо начинать работу в этом направлении [6].

Непосредственным продолжением широкого общения ученых разных стран, прежде всего СССР и США можно считать многочисленные международные симпозиумы и конференции по проблеме внеземной жизни и внеземного разума, состоявшиеся с тех пор. В первую очередь это три советско-американских встречи, проведенные в 1971 г. в Бюракане [6], в 1981

г. в Таллине [7] и в 1991 г. в Санта Крус в Калифорнии [8], а также ряд мероприятий Международного астрономического союза (МАС). В 1982 г. была организована Комиссия МАС № 51 «Биоастрономия» для координации работ в области поиска жизни и разума во Вселенной. Недавнее совещание комиссии проходило в июле 2007 г. в Пуэрто Рико. С 2002 года издаётся «Международный журнал астробиологии» (International Journal of Astrobiology, <http://journals.cambridge.org/action/displayJournal?jid=IJA>). В нём публикуются статьи, посвящённые вопросам поиска жизни во Вселенной, в том числе проблеме SETI.

Первый эксперимент по поиску сигналов ВЦ в Советском Союзе



Рис. 8а. Член-корреспондент РАН В. С. Троицкий (1913–1996).

Сразу после Бюраканского всесоюзного совещания 1964 года две группы радиоастрономов – московская и нижегородская – приступили к разработке проектов поиска радиосигналов ВЦ. Первый эксперимент [9] был осуществлен в Нижнем Новгороде (тогда г. Горький) под руководством выдающегося советского радиофизика и радиоастронома Всеволода Сергеевича Троицкого (1913–1996). Использовался сравнительно скромный

радиотелескоп диаметром 15 м. Наблюдения велись в диапазоне 30 см. В.С. Троицкому удалось сплотить группу энтузиастов, которые под его руководством создали совершенный спектроанализатор, позволявший анализировать спектр в полосе 2 МГц с разрешающей способностью 13 Гц. Наблюдались 11 близких к Солнцу звезд, в том числе восемь звезд солнечного типа (τ Кита, ϵ Еридана, 47 Большой Медведицы, π^1 Большой Медведицы, β Гончих Псов, β Волос Вероники, ψ^5 Возничего, ι Персея), один жёлтый субгигант (η Волопаса), один жёлтый гигант (η Геркулеса) и

один красный карлик (GJ 380 в созвездии Большой Медведицы). Кроме перечисленных звезд, в эксперименте Троицкого наблюдалась и галактика М 31 (Туманность Андромеды), одна из ближайшая к нам галактик, насчитывающая сотни миллиардов звезд. Если бы на планете одной из

них радиоастрономы направили свой передатчик на Солнце, мы, возможно, смогли бы зафиксировать их сигнал. Но этого не произошло. Время наблюдения каждой звезды и галактики М 31 в эксперименте Троицкого было слишком мало. Это была первая проба, планировалось в дальнейшем продолжить исследования, но осуществить эти планы не удалось.

В 1965 г. группа радиоастрономов ГАИШ под руководством Н.С. Кардашёва проводила наблюдения внегалактических радиоисточников на антенне дальней космической связи в Евпатории. Один из источников, СТА 102, показал переменность радиоизлучения с характерным временем порядка 100 суток. Тогда это было истолковано как проявление искусственности источника, что наделало много шума в прессе. Однако вскоре выяснилось, что СТА 102 – природный радиоисточник, удалённый квазар. Тем не менее, это был первый внегалактический радиоисточник, у которого была обнаружена переменность, что дало начало целому направлению исследований.

После пионерских работ Дрейка и Троицкого были проведены десятки экспериментов по поиску сигналов в радио- и оптическом диапазонах. Первоначально поиск осуществлялся только в СССР и США. Затем эксперименты были проведены в Канаде, Австралии, Франции, Германии, Нидерландах, Японии, Аргентине. Прошли многочисленные конференции по



Рис. 8б. 15-метровый радиотелескоп в Зимёнках, на котором был осуществлен первый в СССР эксперимент SETI.

проблеме SETI. Постепенно она стала превращаться в признанное и авторитетное научное направление. Тогда же возник и сам термин SETI.

Исторически первым был предложен термин CETI (Communication with Extraterrestrial Intelligence – то есть связь с внеземными цивилизациями), его предложил проф. Рудольф Пешек (Чехословакия) в 1965 г., и продержался он примерно до середины 1970-х годов, когда постепенно стал вытесняться термином SETI (Search for Extraterrestrial Intelligence – поиск внеземных цивилизаций, внеземного разума). Основанием для такой замены послужило осознание того обстоятельства, что, прежде чем говорить об установлении связи с ВЦ, необходимо их обнаружить. Нет возможности перечислить все эксперименты по поиску сигналов ВЦ. В большинстве своём эти проекты ориентированы на поиск узкополосных радиосигналов – «позывных» ВЦ либо импульсных сигналов, несущих некоторую информацию. Расскажем о некоторых из них.

Огайский обзор

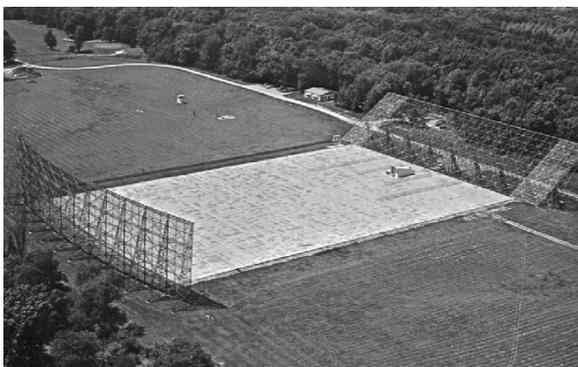


Рис. 9. Двухзеркальный радиотелескоп Big Ear («Большое Ухо») системы Крауса Университета штата Огайо (США), на котором проводился один из самых крупных проектов поиска сигналов ВЦ на волне 21 см.

Начиная с 1973 года на радиоастрономической обсерватории Огайского университета США проводился полный обзор всего неба на частоте радиолинии водорода 21 см. Использовался радиотелескоп системы Крауса. Он имел два отражателя: неподвижный параболический рефлектор, направленный в плоскости меридиана на юг, и подвижной плоский отражатель, наклон которого мог изменяться, что дает возможность наблюдать радиоисточники, кульминирующие на разной высоте над горизонтом, то есть имеющие различные склонения. Площадь

радиотелескопа 110 x 20 кв. м., что эквивалентно параболоиду диаметром около 50 м. Благодаря суточному вращению небесной сферы через неподвижную диаграмму направленности радиотелескопа в течение суток проходили все радиоисточники с заданным склонением. Затем наклон плоского отражателя изменялся, и в следующие сутки наблюдались радиоисточники с новым значением склонения. Так постепенно производился просмотр (обзор) всего неба. Телескоп обладал «ножевой» диаграммой, (вытянутой в вертикальном направлении), что позволяет более быстро провести обзор неба. При этом размер диаграммы был таков, что если взять все звезды спектральных классов F, G, K в радиусе 1000 световых лет от Солнца, то в любой момент времени какие-то три из них должны были находиться в поле зрения радиотелескопа.

Обзор неба по программе SETI начался в декабре 1973 г. Вначале использовался 8-канальный приемник, вскоре число каналов было доведено до 50, при этом полоса каждого канала составляла 10 кГц. В начале 1990-х годов число каналов было доведено до 3000 и планировалось подключить к приемнику спектроанализатор SERENDIP (об этой системе будет сказано ниже) с 4 миллионами каналов, что позволяет перекрыть всю область частот от 1,4 до 1,7 ГГц. К сожалению, этот уникальный инструмент больше не существует. Из-за финансовых трудностей Университету Огайо пришлось продать земельный участок, где был расположен телескоп. В начале 1998 г. телескоп был демонтирован. На его месте устроено поле для гольфа и построен коттеджный поселок.

За время проведения SETI-обзора на Огайской обсерватории был обнаружен ряд интересных объектов, в том числе холодные межзвездные водородные облака, излучающие на волне 21 см спектральную линию в очень узкой полосе частот. Зарегистрировано несколько подозрительных источников, которые, к сожалению, наблюдались лишь однажды и больше не повторялись, но по своим характеристикам мало походили на земные помехи.

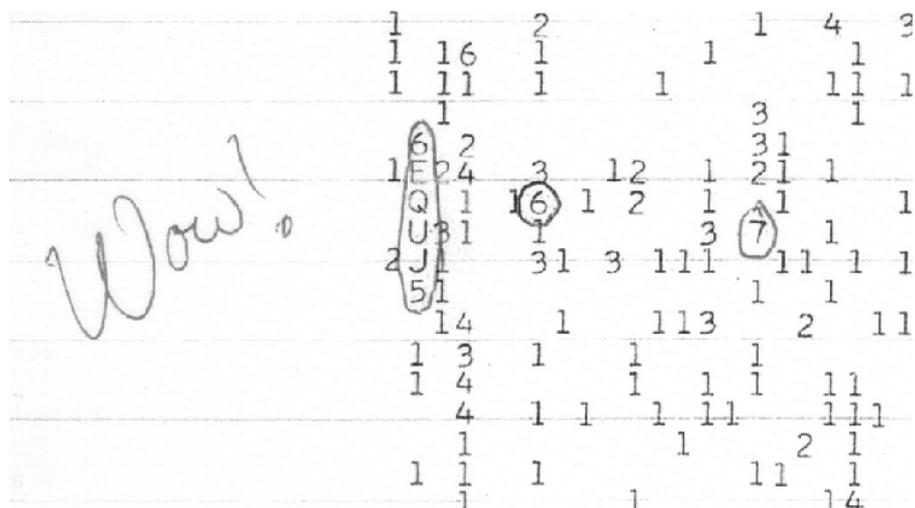


Рис. 10. Оригинальная запись сигнала «Wow!».

Особенно впечатляющий сигнал был зарегистрирован 15 августа 1977 г. Он получил название «Wow!» или «Ого-го!». Приблизительно так можно перевести на русский язык возглас, который взволнованный оператор записал на ленте самописца около этого сигнала. Очень мощный сигнал, намного превышающий уровень шума, наблюдался только в нескольких спектральных каналах. Характеристики его указывали на явно внеземное происхождение. Источник сигнала был расположен в созвездии Стрельца, вблизи плоскости эклиптики, а также недалеко от направления на центр Галактики. Экваториальные координаты источника на эпоху 1950 г. $\alpha = 19^{\text{h}}22^{\text{m}}29^{\text{s}}$, $\delta = -27^{\circ}03''$ – созвездие Стрельца, вблизи направления на Центр Галактики, а также вблизи плоскости эклиптики. Сигнал наблюдался очень короткое время, а затем исчез и больше не появлялся.

На системе апертурного синтеза VLA в штате Нью Мексико впоследствии были построены подробные радиокарты этого участка неба [10]. Найден ряд радиоисточников, но все они – природные, широкополосные излучатели, большинство – радиогалактики и квазары. Отождествить сигнал «Wow!» так и не удалось.

Поиск импульсных сигналов с неизвестного направления

В 1970-х годах в СССР были предприняты поиски импульсных сигналов с ненаправленными (или можно сказать иначе – с

всенаправленными) антеннами. Подобные антенны принимают сигналы сразу со всего неба, и это позволяет избежать поиска по направлению. Ведь мы не знаем, откуда должен прийти сигнал, и, значит, не знаем, куда направлять антенну. А всенаправленную антенну никуда наводить не надо: она принимает излучение со всего неба. Конечно, применяя такие всенаправленные (или ненаправленные) антенны, мы сильно проигрываем в мощности сигнала. Поэтому таким путём можно зарегистрировать только очень мощные сигналы. Эксперимент был рассчитан на прием мощных импульсных сигналов, играющих роль позывных. Такие сигналы может передавать или очень развитая в техническом отношении цивилизация, или цивилизация, расположенная очень близко от нас.

При работе с ненаправленными антеннами возникает одна серьёзная трудность. В нее попадают любые сигналы, в том числе земные помехи. Как отличить помехи от сигнала, приходящего из космоса? Один из методов состоит в том, чтобы проводить наблюдения одновременно в нескольких пунктах. Местная земная помеха будет наблюдаться только в одном из них, а сигнал космического происхождения – сразу во всех пунктах (или в нескольких из них). Отбирая такие сигналы (а они будут достаточно редки), мы можем попытаться найти среди них позывные ВЦ.

Поиски импульсных сигналов проводили две группы радиоастрономов: горьковская группа (из НИРФИ) под руководством В.С. Троицкого и московская группа (ИКИ и ГАИШ) под руководством Н.С. Кардашёва. Горьковская группа вела наблюдения на Дальнем Востоке (г. Уссурийск), в Горьковской области (Зименки, Васильсурск, Пустынь), в Мурманской области (Туллома), в Крыму (Карадаг), а также на борту научно-исследовательского судна «Академик Курчатов» в экваториальных водах Атлантики. Московская группа вела наблюдения на Кавказе (долина реки Маруха, недалеко от Специальной астрофизической обсерватории Академии наук), на Памире и Камчатке. Один из приемников был установлен также на борту межпланетной автоматической станции (АМС) «Марс-7».

Наблюдения проводились в течение нескольких лет. Были зафиксированы многочисленные случаи сигналов с искусственных спутников Земли, но сигналы ВЦ не были обнаружены. Правда, горьковским радиоастрономам в определенной степени повезло: в процессе этих наблюдений они открыли неизвестное ранее спорадическое (то есть нерегулярное) радиоизлучение, которое генерируется в ионосфере и магнитосфере Земли. Это пример побочного результата, который может быть получен при поисках сигналов ВЦ.

Некоторые зарубежные проекты



Рис. 11. 300-метровый радиотелескоп Обсерватории Аресибо (остров Пуэрто-Рико).

Из большого числа проектов, выполненных в других странах, упомянем лишь несколько, в той или иной степени отличительных. В 1975-1976 годах Карл Саган и Фрэнк Дрейк предприняли поиск цивилизаций II типа в Местной группе галактик. Об особенностях и преимуществах

поиска сигналов из других галактик мы уже говорили. Этим, вслед за В.С. Троицким, и решили воспользоваться американские радиоастрономы. Они проводили наблюдения на крупнейшем в мире 300-метровом радиотелескопе в Аресибо. Поиск шел на частотах радиолиний водорода 21 см и молекулы гидроксидов OH 18 см. Общая полоса анализа составляла 3 МГц и разрешающая способность 1 кГц. Были исследованы четыре галактики, на их наблюдение израсходовано около 100 часов наблюдательного времени, что намного больше, чем в эксперименте Троицкого.

В 1978 г. Поль Горовиц исследовал 185 звезд солнечного типа на волне 21 см. Поиск велся в очень узкой полосе ± 500 Гц, центрированной на частоту

лабораторного стандарта, неподвижного относительно центра Солнца. Предполагалось, что цивилизация-отправитель специально посылает сигналы в сторону Солнечной системы и корректирует их частоту к частоте гелиоцентрического стандарта. В этой работе было достигнуто рекордное спектральное разрешение 0,015 Гц (!) и рекордная чувствительность 10^{-28} Вт/м².

В том же году Н. Коэн в обсерватории Аресибо выполнил поиск сигналов от 25 шаровых звёздных скоплений. Шаровые скопления насчитывают сотни тысяч звёзд. Их угловые размеры невелики, поэтому поиск сигналов от шаровых скоплений в какой-то мере напоминает поиск сигналов от других галактик.

В связи с большим интересом среди учёных к проблеме SETI в ноябре 1984 г. в Беркли (Калифорния, США) был основан Институт SETI. В числе его руководителей - известные основоположники SETI Фрэнк Дрейк и Джилл Тартер. Две главные темы работы Института: поиск ВЦ и жизнь во Вселенной. В настоящее время Институт ведет проект поиска ВЦ «Феникс» (сайт Института: <http://www.seti.org>).

Космический стог сена

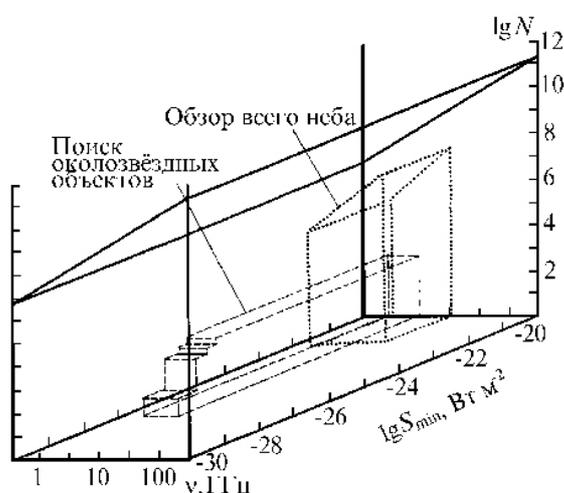


Рис. 12. «Космический стог сена». Показаны только три измерения: ν - частота, S_{\min} - минимальный обнаружимый поток излучения, N - число исследованных направлений на небе

К началу 1980-х годов во всем мире было проведено около 40 экспериментов по поиску сигналов ВЦ в радио- и оптическом диапазонах. Много это или мало? Как оценить, какую долю работы выполнили ученые за эти годы?

В свое время пионер SETI, руководитель проекта OZMA Фрэнк Дрейк сравнил поиск сигнала ВЦ с поиском иголки в «Космическом стого

сена». Под «стогом» при этом понимают некоторый объем в гиперпространстве, имеющем девять измерений: три пространственных координаты, время, два направления поляризации, частота сигнала, модуляция, мощность сигнала.

На рисунке показано сечение «Космического стога сена», в котором оставлены лишь три измерения: частота, чувствительность приемной аппаратуры и N - число направлений на небе, в которых надо производить поиск. Частотный диапазон взят от 300 МГц до 300 ГГц – почти весь доступный для наблюдений с поверхности Земли. Величина N зависит от выбранной стратегии поиска. Если поиск направленный и производится обследование, например, всех известных нам звезд солнечного типа, N может быть от 10^5 и выше. Для ненаправленного поиска (обзор всего неба) значение N определяется площадью участка неба, охватываемого диаграммой направленности радиотелескопа при одном наблюдении. С одной стороны, желательно вести наблюдения с большими антеннами, это позволяет обнаружить более слабые сигналы. Но большие антенны имеют очень высокую направленность, узкую диаграмму. Поэтому, чтобы охватить значительную часть неба, нужно сильно увеличить N , что удлинит время обзора. Обзоры с малыми антеннами дают возможность провести поиск быстрее, N меньше, так как за одно наведение телескопа охватывается более обширная площадь неба, но чувствительность такого поиска ниже.

Наконец, о чувствительности. Величина 10^{-20} Вт м⁻², отложенная на графике – рядовое значение для современных радиоастрономических наблюдений. Рекордные величины – около 10^{-23} Вт м⁻², но для обнаружения передатчика, например, такого, как планетный радиолокатор Аресибо (мощность 10^{13} Вт) в пределах Галактики, потребуется чувствительность 10^{-30} Вт м⁻², намного выше современной.

Все обзоры SETI, выполненные на начальном этапе исследований, до 1980 г., охватывали лишь около 10^{-17} объема, показанного на рисунке. Наблюдения последних лет заметно улучшили положение, но всё равно

охваченная доля «стога» не превышает 10^{-10} . Таким образом, не стоит отчаиваться по поводу (пока) отрицательных результатов поиска, так как остается еще широчайшее поле для деятельности. Прежде всего, нужно стремиться к улучшению чувствительности. Однако при наземных наблюдениях это ставится с каждым годом труднее, так как уровень помех всё время возрастает. Задача также состоит в том, чтобы выделить в «стоге» области, наиболее перспективные с точки зрения стратегии поиска. Это обеспечивается в том числе тщательным отбором целей для направленного поиска.

В последнее время много внимания уделялось оптимизации стратегии SETI. В направленный поиск обычно включают звезды, удовлетворяющие таким требованиям:

- стационарные, то есть не меняющие свой блеск;
- звезды спектральных классов FGK (близких к солнечному), принадлежащие к главной последовательности, иначе, звезды с массой порядка солнечной, находящиеся на длительном и относительно спокойном этапе своей эволюции; однако в последнее время возрос интерес и к звёздам главной последовательности класса M – красным карликам в связи с обнаружением у некоторых из них планетных систем; красные карлики – очень медленно эволюционирующие звёзды, живущие десятки миллиардов лет – время, достаточное для развития жизни, в том числе разумной; напомним, что в списке звёзд первого обзора В.С. Троицкого был один красный карлик;

- одиночные, так как в системе двойной или кратной звезды очень маловероятно существование стабильных орбит для планет, а, возможно, и планетная система вряд ли образуется (с этой точки зрения τ Кита, включенная в проект OZMA, была не лучшим кандидатом на успех, потому что эта звезда двойная или даже тройная).

Проведенная работа по отбору звезд согласно перечисленным критериям дает списки, содержащие тысячи объектов. Это позволяет

произвести достаточно обоснованный отбор направлений на небе, предпочтительных для целенаправленного SETI.

Последнее десятилетие XX века и первые годы XXI века

В числе других проектов, с 1995 г. на 26-метровом радиотелескопе в Гарварде (США) проводился проект ВЕТА (руководитель – Поль Горовиц). Проект включал обзор всего северного неба на волнах от 18 до 21 см с приемником в 80 млн. спектральных каналов. Этот проект под названием МЕТА II распространен также на южное небо: наблюдения ведутся на 34-метровой антенне в Аргентине вблизи Буэнос-Айреса.

С 1990 г. крупнейшая программа SETI планировалась Космической администрацией США NASA. Программа предусматривала поиск сигналов с высоким разрешением по частоте (HRMS – High-Resolution Microwave Search), в том числе обзор всего неба в диапазоне частот 1-10 ГГц и целевой поиск в направлении 1000 ближайших звезд в диапазоне 1–3 ГГц с более высокой чувствительностью и с лучшим разрешением по частоте. Использовался ряд крупнейших радиотелескопов мира, в том числе телескоп в Аресибо и 64-метровая антенна в Австралии – для наблюдений звезд южного неба, недоступных из северного полушария Земли. Однако в 1993 г. Конгресс США прекратил финансирование HRMS. После этого Институту SETI пришлось прибегнуть к средствам частных спонсоров. Работа по обзору ближайших звезд была продолжена на частные пожертвования в рамках проекта Phoenix («Феникс»). Наблюдения продолжаются в диапазоне 1,2–1,75 ГГц на 300-метровом телескопе в Аресибо и одновременно на 76-метровом радиотелескопе Обсерватории Джодрелл Бэнк (Великобритания). Используется многоканальный приемник (28 млн. каналов с полосой частот 1 Гц каждый). Ежегодно наблюдения занимают около трех недель, за это время удается охватить около 200 звезд.

На радиотелескопах США, Италии и Австралии реализуется проект SERENDIP (Search for Extraterrestrial Radio Emissions from Nearby Developed

Intelligent Populations – Поиск внеземных радиоизлучений от близких развитых разумных популяций). В последнее время на 300-м антенне в Аресибо проводились наблюдения по программе SERENDIP IV на волне 21 см в сопутствующем режиме: при этом на телескопе идут параллельно наблюдения по другим астрофизическим программам. Круглосуточно проводился поиск узкополосных сигналов от всего неба с приемником из 168 млн. каналов. Объем получаемой информации столь велик, что руководители проекта обратились за помощью к мировому сообществу любителей SETI с предложением обрабатывать получаемые данные на персональных компьютерах (проект [SETI@home](#), см. далее).



Рис. 13. Радиотелескоп РАТАН-600.

В октябре 2004 г. много шума наделало сообщение о «сигнале SHGb02+14a», который был трижды принят на волне 21 см телескопом в Аресибо из области неба на границе созвездий Рыб и Овна и обладал всеми признаками внеземного

сигнала. Однако, как и в случае Огайского сигнала “Wow!”, «сигнал SHGb02+14a» так и не удалось с тех пор зафиксировать повторно. Вероятно, это была случайная помеха.

В России SETI-наблюдения проводились на радиотелескопе РАТАН-600 Л.Н. Филипповой совместно с сотрудниками Специальной астрофизической обсерватории (САО) Академии наук. Выполнялся обзор ближайших звезд солнечного типа, в том числе имеющих планетные системы, одновременно на нескольких длинах волн (от 13 до 1,38 см). Наблюдения звёзд солнечного типа с планетными системами проводились Г.М. Рудницким



Рис. 14. Радиотелескоп РТ-22, Пушино.

на 22-метровом радиотелескопе в Пушино (волна 1,35 см, спектральная линия молекулы воды H₂O) и на радиотелескопе обсерватории Нансэ, Франция (волна 18 см, спектральные линии молекулы гидроксила OH). Результаты неизменно были отрицательными, сигналы не были обнаружены.

Интересно наблюдение слабого радиоизлучения на частоте 1665 МГц (частота спектральной линии молекулы гидроксила OH, волна 18 см) в направлении звезды солнечного типа 37 Близнецов, полученное в ходе эксперимента по межконтинентальной радиоинтерферометрии ряда космических радиоисточников при участии российских учёных [11]. Этот результат также пока не подтверждён независимыми наблюдениями на других инструментах и нуждается в проверке.

В Таблице 1 перечислены проекты SETI в радиодиапазоне, ныне выполняемые и планируемые в ближайшем будущем.

Проекты SETI в оптическом диапазоне

Идея поиска сигналов ВЦ в оптическом диапазоне зародилась в 1961 г., когда американские физики Чарльз Таунс (Нобелевский лауреат, создатель квантовых генераторов света – лазеров) и Роберт Шварц предложили использовать лазеры для межзвездной связи. Оптический диапазон имеет ряд преимуществ перед радиоволнами.

При помощи мощного лазера и оптического зеркала диаметром в несколько метров можно достичь высокой концентрации энергии в заданном направлении (например, на какую-либо выбранную близкую звезду солнечного типа). Дальность связи еще более возрастет, если посылать сигнал в виде коротких импульсов, так как мощность во время импульса длиной в миллиардные доли секунды может в миллиард раз превышать среднюю мощность излучения. У наиболее мощных современных лазеров во время импульса мгновенная мощность достигает 10^{15} Вт. Световые импульсы такой мощности могут быть обнаружены современными средствами наблюдательной астрономии от объектов на расстоянии до 20–30 световых

лет. Кроме того, лазерный луч, посылаемый в виде коротких импульсов, способен нести гораздо больше информации, чем радиоволна.

Длительное время работа по поиску ВЦ велась в основном в радиодиапазоне. Однако в последнее десятилетие интерес к оптическому SETI (OSETI) оживился. Осуществлен ряд проектов по поиску непрерывных и прерывистых (импульсных) оптических сигналов от ряда звезд солнечного типа и галактик (см. Таблицу 2).

В числе проектов OSETI - наблюдения, выполненные советскими астрофизиками В.Ф. Шварцманом и Г.М. Бескиным на телескопах Специальной астрофизической обсерватории Академии наук в Нижнем Архызе (Карачаево-Черкессия, Северный Кавказ), в том числе на 6-метровом телескопе БГА, одном из крупнейших в мире.

Выполнен ряд поисков сигналов OSETI от ближайших звезд на ряде крупнейших телескопов, в том числе на 10-метровом телескопе Обсерватории Кек на Гавайских островах. С 1990 г. в Коламбусе (Огайо, США) действует на постоянной основе специальная обсерватория COSETI (Columbus Optical SETI Observatory), основная задача которой - поиск сигналов ВЦ в оптическом диапазоне. Для наблюдений используется небольшой оптический телескоп диаметром всего 25 см. Однако создатель и директор обсерватории Стюарт Кингсли уверен в конечном успехе OSETI и считает, что в ближайшие годы основные усилия по поиску ВЦ переместятся именно в оптический диапазон.

OSETI имеет хорошие перспективы. В Гарварде (США) вступает в строй еще одна оптическая обсерватория, специально предназначенная для OSETI. На ней постоянно будет работать телескоп диаметром 1,8 м. В развитии OSETI могут принять участие и астрономы-любители, имеющие собственные небольшие телескопы. Согласованная работа в направлении одних и тех же звезд многих телескопов, расположенных на разных континентах, резко повышает вероятность обнаружения оптических импульсов искусственного происхождения.

«Любительский SETI»

В конце XX века неожиданно широкое развитие получило любительское направление SETI, как в свое время в радиотехнике. Поскольку поиск сигналов ВЦ требует очень высокой чувствительности, наиболее серьезные проекты проводились (и проводятся) профессиональными радиоастрономами. Однако уже в 1983 г. американский инженер Р. Грей с несколькими сотрудниками построил у себя в саду под Чикаго «Малую SETI-обсерваторию», оснащенную 4-метровым радиотелескопом и приемником на волну 21 см. Приемник имел 256 спектральных каналов, обеспечивая разрешение 40 Гц. Несмотря на скромную антенну, была достигнута чувствительность того же порядка, как и в проекте OZMA. Наблюдения проводились ежедневно в вечерние часы. Значительное время было уделено области неба, где наблюдался знаменитый сигнал “Wow!”.

В нашей стране любительский (учебный) проект выполнялся с конца 1980-х годов под руководством Л.Н. Филипповой во Всероссийском детском центре «Орлёнок» на берегу Черного моря, вблизи Туапсе. Проект получил



Рис. 15. Участники проекта «Аэлита» (Всероссийский детский центр «Орлёнок»).

название «Аэлита» в честь героини одноимённого романа Алексея Толстого. Использовалась 3-метровая антенна от солнечного радиотелескопа, переданная «Орлёнку» Специальной астрофизической обсерваторией, и приёмная

аппаратура, разработанная специалистами Института радиофизики и электроники Академии наук Армении.

В связи с широким интересом к проблеме SETI, в США в 1994 г. была основана Лига SETI (SETI League) как всемирная организация, объединяющая любителей астрономии, радиолюбителей, профессиональных радиоастрономов, специалистов по цифровой обработке сигналов с целью систематического научного изучения и поиска внеземной жизни. Основной экспериментальный проект Лиги – «Аргус». Он рассчитан на поиск сигналов с помощью небольших 5-метровых антенн, объединённых в единую сеть. Лига SETI имеет свой сайт в Интернете (<http://www.setileague.org/>), где представлена разнообразная и весьма богатая информация о ее деятельности и проблеме SETI.

Еще один интересный проект, в котором могут принять участие любители, носит название [SETI@HOME](http://www.setiathome.org/) (SETI дома). Проект состоит в обработке данных, получаемых в программе SERENDIP IV на радиотелескопе в Аресибо, при помощи персональных компьютеров во всем мире. Для участия в проекте нужно только получить и установить на своём компьютере программу BOINC. Программа находится на сайте Университета Калифорнии в Беркли <http://boinc.berkeley.edu/>. Если компьютер подключен к Интернету и в течение какого-то времени не используется для работы, программа запускается, скачивает с сайта Аресибо блок наблюдательных данных программы SERENDIP и начинает их обработку с целью поиска узкополосных сигналов с параметрами, подходящими для позывных внеземных цивилизаций. После окончания обработки результат (в большинстве случаев – «сигнал не обнаружен») отсылается на обсерваторию и загружается следующий блок информации. За всё время работы SETI@HOME было найдено считанное число реальных внеземных сигналов (около 150), в большинстве – сигналы от космических аппаратов, запущенных с Земли. В проекте SETI@HOME участвуют миллионы персональных компьютеров во всем мире. Полное компьютерное время, затраченное на обработку данных, уже составило несколько миллионов лет. Любой обладатель компьютера, подключенного к Интернету, может стать

участником проекта и, если повезет, оказаться в числе первооткрывателей ВЦ.

Послания внеземным цивилизациям

Помимо поиска сигналов ВЦ, землянами были предприняты попытки дать знать о себе «братьям по разуму». Сама идея восходит к XIX веку. Так, немецкий математик Карл Фридрих Гаусс предложил вырубить в сибирской тайге участок леса в форме фигуры, иллюстрирующей теорему Пифагора, и засеять его пшеницей. По контрасту с окружающей тайгой такой участок должен быть хорошо заметен с соседних планет. Увидев знакомую фигуру теоремы Пифагора, инопланетные астрономы должны понять, что на Земле живут разумные существа. Австрийский астроном Йозеф фон Литтров предложил с той же целью вырыть в пустыне Сахара каналы в форме правильных геометрических фигур, налить в них керосин и поджигать по ночам.

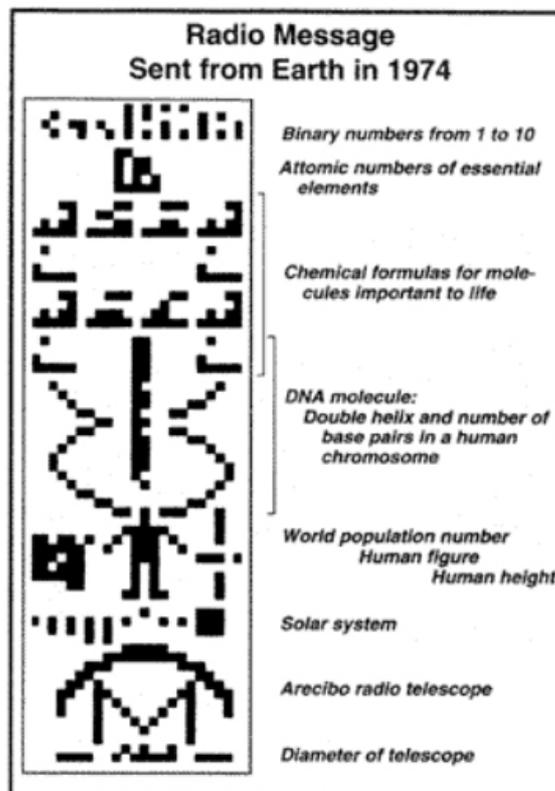


Рис. 16. Послание Арецибо к шаровому звёздному скоплению M13.

В наше время инопланетным цивилизациям были посланы радиосигналы. Так, 16 ноября 1974 года с передатчика радиотелескопа Аресибо было отправлено кодированное послание к шаровому звёздному скоплению М13 в созвездии Геркулеса. Это скопление содержит десятки тысяч звёзд, и все они попадают в площадь, охваченную излучением радиотелескопа. Правда, расстояние до М13 – 25000 световых лет. Поэтому, даже если сигнал там и будет кем-либо принят, на скорый ответ надеяться не приходится.



Рис. 17. Радиотелескоп РТ-70 Центра дальней космической связи, Евпатория, Крым.

В последние годы несколько посланий было отправлено с помощью 70-метровой антенны Центра дальней космической связи в Евпатории (Крым). Рабочая волна передатчика 6 см, излучаемая мощность 150 кВт. Важная инициатива в реализации евпаторийских проектов принадлежит сотруднику Института радиотехники и электроники Российской академии наук А.Л. Зайцеву. В числе отправленных были послания, в подготовке которых приняли участие дети:

Cosmic Call («Космический зов») 1999 (к четырём звёздам); 1-е Детское послание 2001 (6 звёзд); Cosmic Call 2003 (5 звёзд);

Послание с Земли (A Message From Earth, AMFE) 2008 (к звезде Gliese 581, красный карлик, система из четырёх планет).

Расстояния до всех звёзд, охваченных посланиями, составляют десятки световых лет, так что в любом случае ответа придётся ждать долго – не столько, сколько от М13, но всё же...

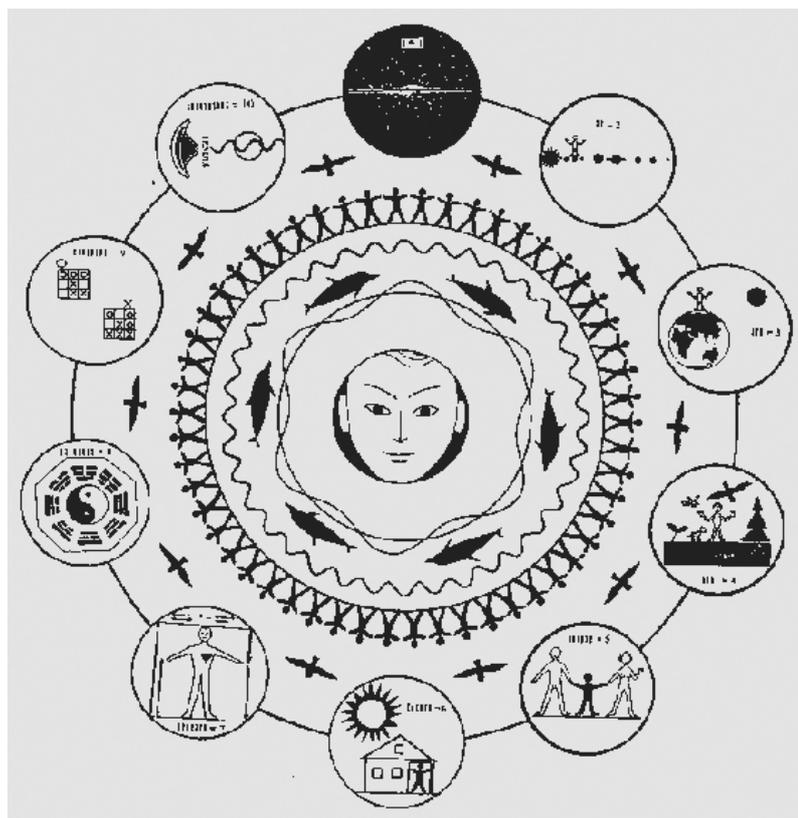


Рис. 18. Первое детское послание ВЦ 2001 года.

4 февраля 2008 года Космическая администрация США NASA передала в космос при помощи одной из своих связанных антенн песню группы Битлз «Across the Universe» («Сквозь Вселенную»). Сигнал был послан в направлении Полярной звезды, расстояние до которой 431 световой год. Акция носила чисто рекламный характер.

В августе 2009 г. все желающие могли отправить сообщение размером не более 160 знаков к звезде Gliese 581 – красному карлику на расстоянии 20 световых лет от Солнца. У Gliese 581 найдено четыре планеты, по своим характеристикам близких к планетам земной группы. Сообщения собирались на австралийском сайте <http://www.hellofromearth.net/>, проходили отбор и 28 августа были отправлены на частоте 7.145 ГГц при помощи 70-метровой антенны дальней космической связи вблизи столицы Австралии Канберры.

По аналогии с термином SETI для обозначения этого вида деятельности появилось сокращение METI (Messaging to Extraterrestrial Intelligence – Послания внеземному разуму). В связи с этим часто задают вопрос: не опасно ли METI? Нужно ли землянам обнаруживать себя? Ведь

мы ничего не знаем о ВЦ. Не агрессивны ли «братья по разуму»? А вдруг примут нашу передачу, запеленгуют, прилетят и нас поработят, а то и уничтожат? Появилось даже словечко «МЕТИ-фобия» – боязнь передач, предназначенных для ВЦ. Дошло до того, что Конгресс США законодательно запретил передачу таких сигналов. Правда, запрет легко обходится использованием антенн в других странах, где такие меры пока не приняты (например, с той же евпаторийской антенны). К тому же Земля и так давно «засвечена» в радиодиапазоне, по крайней мере, в радиусе сотни световых лет, с тех пор, как было изобретено радио. И в последние годы в связи с вводом в действие мощных передатчиков, таких, как установки для радиолокации планет задача обнаружения земной цивилизации существенно упрощается. Любой планетный радиолокатор может быть легко обнаружен при наблюдениях в радиусе многих световых лет, гораздо легче, чем кратковременные МЕТИ-послания, переданные с относительно небольшой мощностью в небольшом числе избранных направлений. Если уж следовать логике «МЕТИ-фобов», лучше вообще отказаться от радиосвязи, телевидения, радиолокации, выключить все передатчики и затаиться – может, не обнаружат? Впрочем, на поверку оказывается, что «МЕТИ-фобов» не очень-то заботят судьбы Земли, гораздо больше их интересует собственный пиар. Так же было в случае с истерикой по поводу эксперимента Deep Impact – бомбардировки ядра кометы Темпля медной болванкой («не трожьте комету!»). Можно привести и другие примеры. На самом деле в среде астрофизиков и специалистов SETI тревоги по поводу возможных «МЕТИ-рисков» нет.

Перспективы на будущее

В последнее время новые возможности для SETI открываются в связи с обнаружением у многих звёзд планетных систем. Начиная с 1995 года, планеты найдены более чем у трёхсот звёзд (<http://exoplanet.eu/catalog.php>). Далеко не все они пригодны для жизни земного типа. В основном это

гигантские планеты с массами порядка массы Юпитера или больше. Многие из них обращаются вокруг своих звёзд на очень малых расстояниях и сильно нагреваются звёздным излучением до температур около тысячи Кельвинов и даже выше. Поэтому их называют «горячие Юпитеры». Такие массивные планеты с короткими периодами обращения проще обнаружить современными наблюдательными средствами. Можно не сомневаться, что при совершенствовании техники наблюдений удастся обнаружить у других звёзд планеты земного типа. О поисках внесолнечных планет (иначе «экзопланет») подробно говорится в лекции В.Г. Сурдина на этой конференции.

В связи с новыми данными по внесолнечным планетным системам некоторые исследователи вновь обращаются к оценкам вероятного числа ВЦ в Галактике, используя статистику экзопланет. Так, Реджинальд Смит в своей статье «Передаём, но не принимаем...» [12] использует формулу Дрейка для оценки минимальной «плотности» технически развитых цивилизаций в Галактике, необходимой для установления контакта, в том числе двухстороннего. Учитываются такие факторы, как энергетические возможности цивилизации, определяющие возможную мощность передачи, так и вероятное время жизни цивилизации в «коммуникативной фазе». Дункан Форган в работе «Численная модель для гипотезы внеземных жизни и разума» [13], также на основе формулы Дрейка, оценивает число цивилизаций в разных предположениях о возможности возникновения жизни и её развития до разумной стадии, а также статистики найденных планет (при этом предполагается, что у массивных планет гигантов, не пригодных для жизни, могут быть крупные спутники земного типа, на которых жизнь есть): 1) панспермия, то есть массовый перенос однажды возникшей жизни между планетами (37965 ± 20 цивилизаций в Галактике), 2) «редкая жизнь», то есть вероятность возникновения жизни на каждой планете мала; но, однажды возникнув, жизнь с высокой вероятностью разовьётся в разумную (361 ± 2 цивилизации), 3) «гипотеза зайца и черепахи» – учитывается

социологический фактор: слишком быстро развивающиеся цивилизации более склонны к самоуничтожению (31574 ± 20 цивилизаций). Возможно, не стоит слишком всерьёз воспринимать столь высокую точность приведённых оценок. Тем не менее, интересны попытки переосмыслить формулу Дрейка на современном астрономическом материале.

В плане будущих поисков перспективным является диапазон миллиметровых волн, в том числе волны длиной порядка 1.5 миллиметров. В этой области лежит максимум спектра реликтового радиоизлучения с температурой 2.73 К, а также частота линии позитрония – короткоживущего атома, состоящего из электрона и его античастицы позитрона. Таким образом, диапазон волн около 1.5 мм представляется выделенным с точки зрения выбора частоты поиска. К преимуществам этого диапазона относятся также высокая направленность антенн, позволяющая реализовать большую дальность межзвёздной связи при той же мощности передатчика, а также низкий уровень земных помех в миллиметровом диапазоне.



Рис. 19. Антенны системы Allen Telescope Array.

В ближайшие годы работы по SETI в радиодиапазоне будут существенно расширены в рамках проекта Телескопа Аллена – Allen Telescope Array (ATA). Система ATA строится в Калифорнии, в Обсерватории Хэт Крик. Система будет состоять из 350 антенн диаметром 6 метров каждая, что резко повысит чувствительность обзора и повысит его эффективность в сотни раз. Рабочий диапазон длин волн ATA от 3 до 30 см. Первые 42 антенны вступили в строй в 2007 г. ATA – первый инструмент, построенный специально для целей SETI.

Большие надежды в поиске SETI возлагаются на будущую радиоастрономическую систему «одного квадратного километра» – Square Kilometer Array (SKA). Система будет состоять из нескольких тысяч

относительно небольших антенн размером в несколько метров и общей

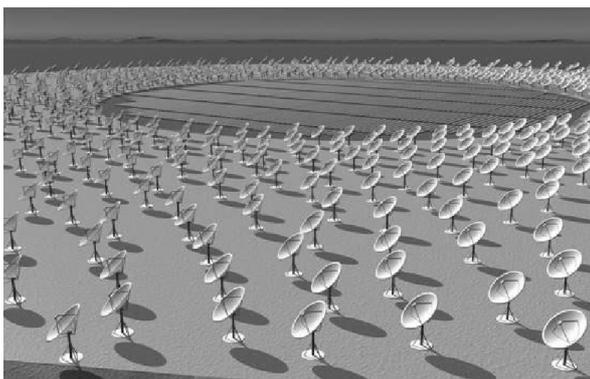


Рис. 20. Один из проектов системы Square Kilometer Array.

площадью 1 квадратный километр.

Планируется построить SKA в одной из стран южного полушария Земли – вероятнее всего, в Австралии или ЮАР. SKA намного превзойдет по чувствительности все действующие радиотелескопы и даст новый импульс развитию

радиоастрономической науки в целом, включая SETI в радиодиапазоне.

С дальнейшим развитием космической оптической астрономии могут быть осуществлены и оптические SETI-наблюдения с космических телескопов. Стоит упомянуть проекты Космического агентства США NASA. В их числе космический аппарат Kepler, запущенный 6 марта 2009 г. Kepler снабжен 95-см телескопом и высокоточным фотометром. Предполагается в течение трех лет выполнить обзор 100 тысяч звезд в области созвездий Лира и Лебедь с целью поиска планет земного типа по ослаблениям блеска звезд, вызванным прохождением планет по дискам звезд. Следующая планируемая миссия NASA – TPF (Terrestrial Planet Finder – поиск планет земного типа). Запуск этого аппарата будет осуществлен после 2010 г. TPF будет иметь четыре зеркала по 3,5 метра каждое и будет нацелен на прямое наблюдение планет у ближайших звезд. Естественно связать с наблюдениями миссий Kepler и TPF поиск импульсных световых сигналов ВЦ.

Наконец, кратко перечислим ещё некоторые будущие возможности проектов SETI, не ограничивающиеся радио или оптическим диапазоном электромагнитных волн:

- поиск ВЦ в рентгеновском и гамма-диапазоне;
- связь с ВЦ при помощи гравитационных волн;
- связь при помощи нейтрино;

– обмен информацией через топологические туннели (или «кротовые норы», «червоточины» - по-английски “wormholes”).

Кроме, может быть, первого пункта, пока это – в области научной фантастики. Гравитационные волны до сих пор не обнаружены, регистрация нейтрино связана с большими экспериментальными трудностями. Особо следует сказать о «кротовых норах» – туннелях в пространстве-времени, которые, согласно Общей теории относительности, могут существовать вблизи чёрных дыр. «Кротовые норы» способны непосредственно связывать между собой далёкие друг от друга точки пространства или даже быть окнами в другие Вселенные. Как отмечалось, одна из главных проблем связи с ВЦ – очень длительное время распространения сигналов: обмен посланиями даже с ближайшими соседями по Галактике может занять десятки лет. А «кротовые норы» позволяют доставить сигнал из одного места в другое, даже очень отдалённое, почти мгновенно. Не исключено и их использование в будущем для быстрых межзвёздных перелётов. Высокоразвитые цивилизации, обладающие большими энергетическими ресурсами, в принципе могут создавать такие тоннели искусственно. Об удивительных свойствах «кротовых нор» и об их использовании для SETI пишет Н.С. Кардашёв в своей статье [14].

В кратком обзоре невозможно охватить все вопросы, связанные с проблемой поиска внеземных цивилизаций. Не опасен ли SETI (и, тем более, METI)? Если сигнал ВЦ всё же обнаружен, как его расшифровать и интерпретировать? Какое влияние это событие может оказать на ход истории земной цивилизации? Стоит ли отвечать на принятый сигнал, и если да, то как? Кто возьмёт на себя ответственность за это? И так далее...

В списке литературы приведены ссылки на основные работы по тематике SETI, упомянутые в тексте. Недавний обзор проблемы SETI дан в монографии Л.М. Гиндилиса [15], которая во многом развивает и продолжает на современном уровне содержание книги И.С. Шкловского [3]. Ряд статей и

обширную библиографию можно найти в Интернете на сайте Russian SETI (<http://lnfm1.sai.msu.ru/SETI/koi/>).

Литература

1. G. Cocconi and P. Morrison, Searching for Interstellar Communications, *Nature*, Vol. 184, No. 4690, pp. 844–846 (1959).
2. И.С. Шкловский, Возможна ли связь с разумными существами других планет? *Природа*. № 7, с. 21 (1960).3. И.С. Шкловский, Вселенная, жизнь, разум. М.: Изд-во АН СССР, 1962.
4. I.S. Shklovskii and C. Sagan, *Intelligent Life in the Universe*. San Francisco: Holden-Day, 1966.
5. Н.С. Кардашёв. Передача информации внеземными цивилизациями, *Астрономический журнал*. Т. 41, № 2, с. 282–287 (1964).
6. Внеземные цивилизации. Труды совещания. Бюракан, 20–23 мая 1964 г. Ереван: Изд-во АН Армянской ССР, 1965.
7. Проблема SETI (Связь с внеземными цивилизациями). М.: Мир, 1975.
8. Third Decennial US–USSR Conference on SETI. San Francisco: Astronomical Society of the Pacific, 1993.
9. В.С. Троицкий, А.М. Стародубцев, Л.И. Герштейн и В.Л. Рахлин. Опыт поиска монохроматического радиоизлучения от звезд в окрестностях Солнца на частоте 927 МГц. *Астрономический журнал*. Т. 48, № 3, с. 645–647 (1971).10. R.H. Gray and K.B. Marvel, A VLA Search for the Ohio State “Wow”, *Astrophysical Journal*. Vol. 546, No. 2, pp. 1171–1177 (2001).
11. I. Molotov, A. Chuprikov, S. Likhachev, C. Salter, T. Ghosh, G. Ghigo, and S. Dougherty. First VLBI Observations with Arecibo in an International S2 Ad-hoc Array. In: *Single-Dish Radio Astronomy: Techniques and Applications*, ASP Conference Proceedings, Vol. 278. San Francisco: Astronomical Society of the Pacific, 2002, p. 507–510 (2002).

12. R.D. Smith. Broadcasting but not receiving: density dependence considerations for SETI signals. *International Journal of Astrobiology*. Vol. 8, No. 2, pp. 101–105 (2009).
13. D.H. Forgan. A numerical testbed for hypotheses of extraterrestrial life and intelligence. *International Journal of Astrobiology*. Vol. 8, No. 2, pp.121–131 (2009).
14. Н.С. Кардашёв. Космология и проблемы SETI. *Земля и Вселенная*, № 4, с. 9–17 (2002).
15. Л. М. Гиндилис, SETI: Поиск Внеземного Разума. М.: Физматлит, 2004 (<http://lnfm1.sai.msu.ru/SETI/koi/articles/lmg%20seti%20poisk/index.htm>).

Таблица 1. Проекты SETI, выполняемые в радиодиапазоне

Название проекта	Страна	Телескоп	Диапазон частот	Число каналов	Полоса частот одного канала	Объекты
SERENDIP IV	США	Аресибо 305 м	1420 МГц	168 млн.	0.6 Гц	$\delta = +2^\circ \dots +35^\circ$
SERENDIP	Италия	Медичина 32 м		24 млн.	0.6 Гц	
SERENDIP	Австралия	Паркс 64 м	1200–1500 МГц	58.8 млн.	0.6 Гц	
BETA	США	Гарвард 26 м	1400–1720 МГц	2 млрд.	0.5 Гц	Вся доступная часть неба
META II	Аргентина	Буэнос-Айрес 34 м	1420 МГц	8,4 млн.	0,05 Гц	$\delta = -10^\circ \dots -90^\circ$
Phoenix	США	Аресибо 305 м	1420 МГц	28 млн.	1 Гц	1000 ближайших звезд
Argus (I)	США	Малые антенны				Вся доступная часть неба
Argus (II)	США	Array2k				Вся доступная часть неба
РАТАН	Россия	РАТАН-600 600 м	2300–22200 МГц			Вся доступная часть неба
АТА	США	Хэт Крик, Калифорния 350 x 6 м	500–11000 МГц			Вся доступная часть неба

Таблица 2. Проекты оптического SETI

Год начала*	Длина волны (нм)	Телескоп (м)	Объекты	Обсерватория
1973	280	1	3 звезды	Коперниковская (Польша)
1973	550	0.6	21 объект	САО (Северный Кавказ)
1978	550	6	93 объекта	САО (Северный Кавказ)
1986	10000	1.7	ближайшие звезды	Университет Беркли (Калифорния, США)
1990	550	0.254	Ближайшие звезды	COSETI (Огайо, США)
1995	550	6	несколько объектов	САО (Северный Кавказ)
1996	550	0.64	ближайшие звезды	Перт (Австралия)
1996	550	0.3	ближайшие звезды	(Чехия)
1999	550	0.76	Ближайшие звезды	Проект SEVENDIP, обсерватория Лойшнер (Калифорния, США)
1999	550	4 и 10	Ближайшие звезды	Ликская (Калифорния, США) и Кек (Гавайи, США)
1999	550	1.55	Ближайшие звезды	Гарвард-Смитсоновская (Массачусеттс, США)
1999	550	0.4 и 1.85	Ближайшие звезды	Сидней (Австралия)
2000	550	0.91	Ближайшие звезды	Принстон (Нью-Джерси, США)

Примечание:

Жирным шрифтом выделены проекты, продолжающиеся в настоящее время.