

Американская программа SETI до 2020 года

Г. М. Рудницкий

Государственный астрономический институт имени П.К. Штернберга

Дан обзор программы поиска внеземных цивилизаций до 2020 года, разработанной Американским институтом SETI (Маунтейн Вью, штат Калифорния). Программа опубликована в книге "SETI 2020: дорожная карта для поиска внеземных цивилизаций". Обсуждаются SETI-обзоры неба, как прошлые, так и продолжающие. Основа будущих поисков — быстрое развитие вычислительных устройств. Гордон Мур, один из основателей корпорации Intel, сформулировал закон: начиная с 1960 г. мощность компьютерных процессоров удваивается каждые два года. Такой прогресс позволит создать радиоприемные системы, ведущие поиск сигналов одновременно во многих направлениях на небе и анализирующие принятые сигналы со спектральным разрешением в доли герца до 1 Гигагерца. Один из главных проектов, находящихся в стадии выполнения, — телескоп в 1 гектар, или Телескоп Аллена, первая система, предназначенная специально для SETI. Обсуждаются перспективы использования в SETI будущей системы радиотелескопов с площадью в 1 км² (Square Kilometer Array).

US SETI PROGRAM TILL 2020, by G.M.Rudnitskij. This paper gives a review of the Program of Search for Extraterrestrial intelligence till 2020, developed by the American SETI Institute (Mountain View, CA). This Program was published in the book "SETI 2020: A Roadmap for the Search for Extraterrestrial Intelligence". SETI surveys of the sky, past and ongoing, are discussed. SETI strategies, frequency, and target choice are reviewed. The basis of the future surveys is a rapid development of computational facilities. Since 1960 the power of computer processors has been doubling every two years, a law noted by Gordon Moore, one of the co-founders of the Intel Corporation. This progress will make possible radio receiving systems searching simultaneously many directions in the sky and analyzing received signals with a spectral resolution of a fraction of a Hertz in a Gigahertz band. One of the main projects now under construction is the One Hectar Telescope, or Allen Telescope, the first dedicated system for SETI. The prospects for using the future Square Kilometer Array in SETI are discussed.

В 2002 году в Институте SETI в Калифорнии была издана книга "SETI 2020: A Roadmap for the Search for Extraterrestrial Intelligence" — подробный отчет на 549 страницах о деятельности научно-технической рабочей группы SETI (SETI Science and Technology Working Group, SSTWG) (SETI, 2002). В группу вошли виднейшие американские специалисты по поиску внеземных цивилизаций, такие как Фрэнк Дрейк, Джилл Тартер, Джон Биллингем, Кен Келлерман, Дэн Вертхаймер и др. В работе группы также приняли участие ведущие специалисты фирм по разработке высоких технологий. В 1997–1999 гг. в Силиконовой долине в Калифорнии состоялись четыре совещания, на которых была выработана конкретная программа поиска ВЦ, рассчитанная до 2020 года включительно.

ласти SETI на ближайшие десятилетия в первую очередь с быстрым ростом возможностей вычислительных устройств, что позволит обрабатывать огромные объемы информации, получаемой при SETI-наблюдениях, а также резко повысит эффективность самих наблюдений. Свои прогнозы авторы основывают на том, что характеристики высокотехнологичных устройств со временем улучшаются (закономерность, получившая название закона Мура). Доктор Гордон Мур (Gordon Moore) — один из основателей корпорации Intel (1968). В 1975–1979 гг. — президент корпорации, в настоящее время — почетный председатель совета директоров Intel. В 1965 г. Мур открыл закономерность: новые модели микросхем разрабатывались через каждые 18–24 месяца, а емкость их при этом возрастала примерно вдвое. Иначе говоря, мощность вычислительных устройств экспоненциально воз-

Авторы книги связывают перспективы в об-

растает со временем. Рис. 1 иллюстрирует закон Мура применительно к эволюции микропроцессоров за последние десятилетия XX века.

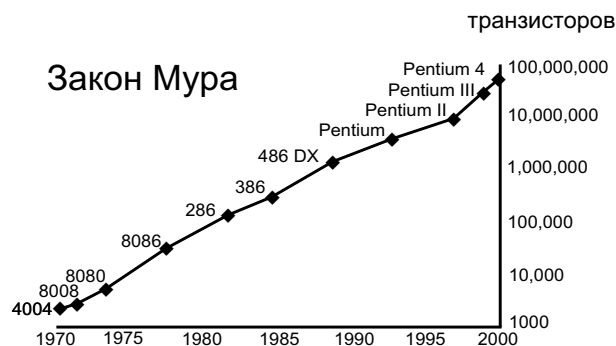


Рис. 1: Рост числа элементов в процессорных микросхемах с 1970 по 2000 год.

Предисловие к книге написано одним из пионеров SETI Филиппом Моррисоном (1915–2005). Моррисон участвовал в Манхэттенском проекте создания ядерной бомбы и в первом ее испытании. После этого он активно выступал против гонки вооружений и предупреждал об опасности развязывания ядерной войны. В 1959 г. Моррисон совместно с Джузеппе Коккони опубликовал первую статью, посвященную возможности приема радиосигналов от ВЦ (Коккони, Моррисон, 1959).

Основная часть книги состоит из девяти глав. Многие вопросы, рассмотренные в книге (особенно проблемы общего характера, связанные с SETI), подробно освещались в многочисленных публикациях. В данном обзоре основное внимание будет уделено новым проектам, предлагаемым к исполнению в период до 2020 года.

1. Введение и история. В главе описана история Института SETI. Дан краткий обзор проектов, рассмотренных в последующих главах. Рассказано о деятельности Научно-технической рабочей группы SETI по планированию исследований на первое двадцатилетие XXI века. Излагается история SETI, начиная со статьи Коккони, Моррисона (1959), далее, о первом проекте поиска OZMA под руководством Ф. Дрейка и об уравнении Дрейка для ожидаемого числа ВЦ в Галактике.

2. Научная основа SETI. В этой главе говорится о состоянии отраслей науки и техники, связанных с SETI, на 2000 год. Обсуждаются следующие вопросы: о жизни на Земле и об экстремальных условиях, в которых такая жизнь может существовать; где еще может (или могла в прошлом) существовать жизнь в Солнечной системе или где-либо в Галактике; о недавно открытых планетах у других звезд; есть ли среди них похожие на Землю; зоны, пригодные для жизни (Habitable Zones),

около других звезд; ограничения на возможности приема сигналов ВЦ, налагаемые космическим фоном и условиями на Земле; соотношение усилий по поиску ВЦ в радио-, оптическом и инфракрасном диапазонах; о риске программы SETI (ложное обнаружение или необнаружение, лженаука).

3. Техника межзвездной связи. Обсуждается техническая сторона осуществления связи на межзвездных расстояниях, особенно в радио- и в оптическом диапазонах спектра с использованием импульсных или непрерывных сигналов. Главный вопрос здесь — выбор оптимальной длины волны для поиска в интервале от 30 см до 300 нм. И для передатчика сигналов, и для приемника важна фокусировка излучения; по этому параметру поиски в радио и в оптике находятся примерно в равных условиях. Поэтому необходимо использовать оба диапазона, в особенности потому, что оптические лазеры могут быть очень эффективными маяками, а их высокая направленность и точность наведения вполне позволяют охватить предполагаемые зоны обитания вокруг близких звезд. В то же время технология поиска ВЦ в радиодиапазоне является наиболее разработанной и зрелой.

4. Статистика, компьютеры и обработка сигналов. Рассмотрена роль вычислений в программе SETI. Показано, что в ближайшие 20 лет затраты на вычисления не будут составлять значительной доли в общей стоимости любой системы SETI. Сейчас стоимость компьютерной обработки данных в 10 000 раз ниже, чем работа такого же объема 20 лет назад, и неуклонно снижается. Например, техника быстрого преобразования Фурье была практически неизвестна 40 лет назад, а теперь это один из самых эффективных и недорогих методов. В то же время антенны радиотелескопов и оптические телескопы — прежде всего механические устройства. Их стоимость не подчиняется закону экспоненциального снижения для вычислительных устройств, т. е. закону Мура. Следовательно, со временем стоимость вычислений по сравнению со стоимостью механических компонентов телескопов будет еще меньше. Обсуждаются чисто математические аспекты обработки сигналов и теории информации, имеющих отношение к SETI: выделение сигнала из шумов; введение поправок на искажение сигнала из-за вращения и орбитального движения передающего и принимающего объектов; методика оценки “искусственности” принятого сигнала; особенности обнаружения импульсных и непрерывных сигналов на фоне шумов как в радио, так и в оптике; возможные кодировки сигналов.

5. Источники сигналов ВЦ и стратегии поиска. Дан обзор возможных целей для SETI. Если удастся найти признаки ВЦ у ближайших

звезд, то по используемой ими технологии можно оценить уровень развития. Если ВЦ старше нашей цивилизации, то технология может быть более совершенной. Рассмотрена возможность обнаружения сигналов непреднамеренной “утечки”, особенно в радиодиапазоне: такие сигналы могут обнаруживаться на больших расстояниях, хотя с развитием технологий в целях экономии энергии интенсивность этих сигналов может уменьшаться, если только цивилизации не ведут между собой систематический радиообмен. Для поиска ВЦ могут применяться две стратегии: обзор всего неба или наблюдение отдельных избранных объектов (подробнее см. Рудницкий (1999)). В обзоре неба можно обнаружить непрерывное излучение или медленно пульсирующий сигнал; маяк может быть зарегистрирован только если в момент наблюдения его луч будет направлен на нас. Направленные поиски позволяют обнаружить и маяки, и непрерывные сигналы, однако ограничены нашим выбором объектов, возможно, не наилучшим. Впрочем, могут быть и предпочтительные объекты для поиска или области, плотно заселенные звездами, заслуживающими особого внимания. Выбор диапазона определяется расстоянием до объекта поиска. На расстояниях свыше 1000 световых лет поглощение света межзвездной пылью становится заметным, что дает преимущество при поиске в радио и далеком ИК-диапазоне перед наблюдениями в оптическом и ближнем ИК. Рассмотрены характеристики “идеального детектора”, охватывающего все небо в течение всего времени во всем диапазоне частот и имеющего очень высокую чувствительность. Осуществление такого “проекта” требует очень больших вычислительных мощностей. Возможны и гибридные подходы с выбором предпочтительных объектов в пространстве и времени. Наконец, обсуждаются возможные стратегии передачи сигналов другими цивилизациями и выбор максимально соответствующей им стратегии приема, при этом используются методы теории игр.

6. Технология SETI. Во-первых, рассмотрены вычислительные возможности SETI, перспектива их роста в ближайшие годы в соответствии с законом Мура и одновременное снижение их стоимости. Далее обсуждаются современные технологии наблюдений в радиодиапазоне, в том числе подавление радиопомех, выделение полезного сигнала на фоне шумов и последующая обработка сигнала. Наиболее перспективными для поиска сигналов признаны системы антенн типа фазированной решетки. При большой производительности вычислительных устройств такая система позволяет формировать множество (десятки и сотни) диаграмм направленности для одновременного приема сигналов с различных участков неба и в то

же время проводить спектральный анализ сигнала с высоким частотным разрешением (сотые доли герца) в полосе гигагерцовой ширины.

Предложен проект системы для поиска сигналов инопланетных маяков, которые могут приниматься на Земле лишь в течение коротких промежутков времени (Всенаправленная система SETI — Omnidirectional SETI System, OSS). Эта задача требует регулярно повторяющегося обзора всего неба в широком диапазоне частот. Предполагается, что OSS будет работать в полосе частот 1 ГГц с центральной частотой 1.5 ГГц и будет состоять из 4096 элементов малых размеров. Элементы располагаются на площадке размером всего 6.4 м и образуют фазированную решетку. Их суммарная эффективная площадь составит 39 м². При этом одновременно будет охвачен наблюдениями телесный угол небесной сферы в 4.2 стерадиан. Предел обнаружения по потоку 1.4×10^{-23} Вт/м². Стоимость системы OSS \$ 19.7 млн.

В главе 6 также обсуждаются проекты “следующего поколения”: обзор всего неба (Next Generation Sky Survey) и направленный поиск (Next Generation Targeted Search). Для направленного поиска наиболее перспективно использовать проектируемую систему апертурного синтеза с эффективной площадью в 1 км² — Square Kilometer Array (SKA) (Арденн, Смитс, 1996; http://www.skatelescope.org/pages/page_astronom.htm). Проект SKA пока находится в стадии разработки. Предложено около десятка различных вариантов. Чувствительность SKA по потоку должна быть порядка нескольких единиц 10^{-29} Вт/м². Еще не принято решение о месте строительства SKA. Рассматриваются варианты его размещения в Аргентине, Австралии, Китае и Южной Африке. Система будет состоять из нескольких тысяч антенн (вероятнее всего, небольших — размером в несколько метров), образующих фазированную антенную решетку. Базовые линии системы — от 20 м, и возможно, до 1000–3000 км, рабочий диапазон — 100 МГц–25 ГГц с последующим расширением до 60 МГц–35 ГГц. Китайцы, напротив, предлагают систему всего из восьми неподвижных зеркал диаметром 500 м каждое (типа Аресибо). В одном из вариантов предусмотрено, что наведение и сканирование осуществляется с помощью электрической фазировки элементов. Разумеется, SKA будет служить прежде всего целям радиоастрономии. Маловероятно, что удастся получить большое количество наблюдательного времени SKA исключительно для SETI. Правда, возможна работа в сопутствующем режиме, то есть поиск ВЦ при чисто радиоастрономических наблюдениях. Гораздо более реален для SETI

проект телескопа “Один гектар” (1-hectare Telescope, 1hT) для обзора неба в диапазоне 1–3 ГГц с чувствительностью 1.7×10^{-23} Вт/м², о котором говорится в главах 7 и 8.

Рассматривается технология SETI в оптическом и инфракрасном диапазонах. Основные надежды связаны с поиском наносекундных импульсов от мощных лазеров. Это требует применения быстрых детекторов света — одиночных либо парных со схемой совпадений. Сравниваются возможности поиска импульсных и непрерывных лазерных сигналов. В оптическом диапазоне SETI могут использоваться телескопы с черенковскими детекторами коротких световых вспышек, уже давно используемые для регистрации космических лучей высоких энергий.

7. Выводы и рекомендации. Резюмированы положения, обоснованные в предыдущих главах. Сформулированы следующие рекомендации по плану SETI на ближайшие годы.

- Постройка телескопа “Один гектар” (1hT). Это очень эффективный проект, так как не требует больших затрат. Применяемая технология позволяет максимально использовать собирающую площадь небольших антенн путем одновременного формирования многих диаграмм направленности за счет использования недорогих электронных устройств. Здесь полностью применим закон Мура. 1hT будет первым инструментом, созданным специально для SETI. Он также может использоваться для целей радиоастрономии и послужить прототипом для SKA.

- Создание системы OSS для непрерывного обзора неба с целью поиска маяков ВЦ.

- Развитие систем поиска импульсов в оптическом диапазоне; изучение существующих баз данных для поиска, возможно, уже принятых сигналов непрерывного оптического излучения.

- Разработка нового поколения систем оптического диапазона с более высокой чувствительностью, охватывающих большую площадь неба.

- Изучение возможностей выполнения поисков на оптических телескопах в сопутствующем режиме, одновременно с астрономическими наблюдениями.

- Предложения по исследованию новых областей в фазовом пространстве (“Космическом стоге сена”).

- Составление “Стратегического Плана” SETI.

8. Бюджет и реализация.

Ближайшая задача на 2005 год — постройка и ввод в действие телескопа “Один гектар” (1hT) с эффективной площадью антенн 10^4 м² в диапазоне частот 1–10 ГГц, полностью предназначенного для

SETI. Система 1hT будет состоять из 509 параболических антенн. Один из элементов 1hT изображен на рис. 2. Параболический отражатель имеет диаметр 5 м. Вторичное зеркало смещено относительно оптической оси главного зеркала, что улучшает обзор неба. Такое устройство антенны позволяет формировать (путем цифровой обработки принимаемого сигнала) одновременно три диаграммы направленности. Нижний кожух, поддерживающий вторичное зеркало, служит экраном и защищает антенну от теплового радиос шума земной поверхности. Для постройки 1hT выбрано место к северу от Сан Франциско в радиообсерватории Хэт Крик (Hat Creek) Калифорнийского университета в Беркли. Полная стоимость проекта оценивается в \$ 15 млн. Из них \$ 12.5 млн. в выделили спонсоры проекта Пол Аллен¹ (Paul Allen, один из основателей фирмы Microsoft) и Натан Мирволд (Nathan Myhrvold, бывший руководитель технологического отдела Microsoft). Предполагается, что при помощи системы 1hT, а затем, возможно, и SKA удастся охватить поиском звездное население в области пространства до расстояний в 1000 световых лет.



Рис. 2: Антенна — элемент системы 1hT.

9. Эпилог. В Эпилоге, написанном Джоном Биллингемом, кратко рассмотрены возможные последствия обнаружения сигнала ВЦ. Отмечено, что Рабочая группа почти не обсуждала вопрос о том, как однозначно сделать вывод об искусственном происхождении обнаруженного сигнала. Далее, если сигнал найден, должны ли мы посылать ответ; если да, то какой; кто должен принять решение и кто будет заниматься подготовкой ответа. В июне 2000 г. Комитет SETI Международной академии астронавтики представил отчет об этом (White Paper — Белая Статья) в Комитет ООН по мирному использованию космического простран-

¹ Система 1hT названа также его именем “Телескоп Аллена”, Allen Telescope Array, ATA.

ства (ранний вариант Белой Статьи (см. “Ответ с Земли”, 1994)). Необходимо предусмотреть также возможные действия по поиску дополнительной информации при обнаружении первого сигнала SETI. Обнаружение сигнала ВЦ несомненно окажет большое влияние на самосознание и развитие человечества, не меньшее, чем открытия Галилея и Дарвина. Уже имеется ряд публикаций о вероятных последствиях обнаружения сигнала, социальных, психологических и философских. Отмечена необходимость более широкого привлечения специалистов по общественным наукам к исследованиям в области SETI.

Почти половину книги занимают приложения — оригинальные статьи участников Рабочей группы по отдельным вопросам программы SETI, главным образом технического характера. Многие из вопросов до сих пор не рассматривались в SETI-литературе и представляют самостоятельный интерес. Далее приводится их краткий обзор.

- **Проект Cyclops: пересмотр.** Проект подготовили и опубликовали в 1972 г. Бернард Оливер и Джон Биллингем. Предлагалось построить систему из нескольких тысяч крупных (диаметром до 100 м) антенн для направленного поиска сигналов ВЦ от нескольких миллионов звезд в диапазоне 1–3 ГГц. Благодаря подробной разработке многих вопросов SETI на протяжении последующих десятилетий проект оставался одним из главных руководящих документов по данной проблеме. Приведены основные положения проекта Cyclops с комментариями Джилл Тартер.

- **Маяки, маяки и еще маяки.** Л. Шеффер описывает шесть видов маяков (радио и оптических), которые могли бы построить земляне и которые также могли бы создать инопланетяне. Обсуждается, как мы могли бы обнаружить такие инопланетные маяки.

- **Шумовые температуры усилителей.** С. Вейнреб приводит данные для усилителей высокой частоты диапазона 1–10 ГГц, использующих элементы современной технологии — НЕМТ-транзисторы (транзисторы с высокой подвижностью электронов, ВПЭ). При охлаждении температура их собственных шумов снижается вплоть до 5 К.

- **Широкополосный рефлекторный облучатель для SKA.** У. Уэлч предлагает вариант широкополосных антенн малого диаметра (5 м) для SKA. Применение логопериодических дипольных облучателей в первичном фокусе антенн позволит (при использовании соответствующих широкополосных усилителей) одновременно принимать полосу частот от 0.3 до 10 ГГц, что резко повысит эффективность системы.

- **Оптимальная малая параболическая антенна для SKA.** Дж. Дреер анализирует стоимость параболических антенн диаметром D от 3 до 30 м в диапазоне 1–10 ГГц для системы SKA. Для заданных общих параметров SKA без учета свойств приемных систем общая стоимость антенн минимальна при $D \approx 4$ м с числом элементов в системе $\approx 1.9 \times 10^5$. В случае применения криогенных приемных систем с шумовой температурой 20 К оказываются оптимальными антенны с $D \approx 10$ м, числом элементов $\approx 5.5 \times 10^3$.

- **Количественная оценка программ SETI.** Дж. Дреер и К. Каллерс количественно оценивают эффективность различных проектов, как выполняемых в настоящее время, так и планируемых, в радио- и оптическом диапазонах. Основным параметром служит полная мощность предполагаемого передатчика ВЦ (в предположении изотропного излучения). Учитываются также количество исследованных звезд, кратность их наблюдений, диапазон принимаемых частот, принимаемая поляризация излучения. В некоторых проектах направленных поисков (таких, как Phoenix) используются приемники с высокой чувствительностью, поэтому они лучше приспособлены для поиска передатчиков с изотропной мощностью излучения $\leq 10^{14}$ Вт. Сплошные обзоры неба (типа SERENDIP) лучше приспособлены для поиска более мощных передатчиков. Поиски в инфракрасном и оптическом диапазонах пока значительно менее чувствительны. Однако в будущем, когда их технология будет усовершенствована, а интенсивность помех в радиодиапазоне увеличится, поиск в инфракрасном и оптическом диапазонах SETI будет приобретать все большее значение.

- **Широкий подход.** К. Каллерс оценивает долгосрочные перспективы SETI вне связи с расходами на конкретные проекты, а только с точки зрения вероятного развития технологий. Предполагается использование наиболее крупных антенн и метода когерентного приема сигнала. Так, при помощи SKA можно надеяться выполнить в течение двух ближайших десятилетий радиообзор 1% нашей Галактики с целью поиска узкополосного маяка ВЦ. Некоторые преимущества в плане выделения полезного сигнала из шумов имеют поиски в оптическом диапазоне. Короткие (наносекундные) импульсы высоконаправленного монохроматического лазерного маяка могут быть относительно легко обнаружены даже на фоне непрерывного излучения центральной звезды внесолнечной планетной системы.

- **Время и частота в SETI.** Л. Катлер рассматривает значение точной шкалы времени и высокостабильных стандартов частоты при радиоин-

терферометрических наблюдениях со сверхдлинными базами и в SETI. Сравниваются характеристики атомных стандартов частоты разных типов (водородного, цезиевого, ртутного). Наилучшей относительной стабильностью (до 10^{-16}) на коротких и средних интервалах времени обладают водородные стандарты. Для установки шкалы времени в SETI, особенно при наблюдениях из нескольких независимых пунктов, полезным может быть прием сигналов спутников Глобальной навигационной системы (Global Positioning System, GPS).

• **Точный учет доплеровской поправки.**

Л. Шеффер описывает метод точного учета сдвига частоты принимаемого узкополосного сигнала из-за взаимного движения передатчика и приемника. Предложен метод коррекции, использующий переменную частоту оцифровки сигнала. Метод позволяет вводить поправку одновременно в достаточно широкой полосе частот (несколько килогерц) при сохранении очень высокого частотного разрешения (до 0.001 Гц), что важно при поиске и анализе сигналов монохроматических радиомаяков ВЦ.

• **Парадокс Ферми.** П. Хоровиц излагает обстоятельства, при которых Энрико Ферми высказал летом 1950 г. во время работы над Манхэттенским проектом водородной бомбы свое суждение: “Если Галактика населена разумными существами, то почему никто из них до настоящего времени не дал знать о своем существовании?”

• **Астрометрия.** А.П. Босс и Дж.Д. Гейтвуд обсуждают экспериментальные возможности обнаружения внесолнечных планет при помощи наземной интерферометрии и астрометрии, а также в космических экспериментах (HIPPARCOS, Космический телескоп им. Хаббла). Обсуждаются планируемые проекты: космический FAME (Full-Sky Astrometric Explorer — Астрометрический исследователь всего неба) и наземный MAP, MAPS (Multichannel Astrometric Photometer — Многоканальный астрометрический фотометр). Достижимая точность измерения положений звезд (порядка тысячных долей секунды дуги) дает возможность обнаружения планет у ближайших звезд по отклонениям в их собственном движении по небесной сфере.

• **Архив поисков SETI.** Архив впервые был собран Джилл Тартер в 1974 г. и с тех пор регулярно ею обновляется. Перечислены 120 экспериментов SETI, выполненных с 1960 г. (проект OZMA Ф. Дрейка) по 2001 г.

• **Уширение импульсов в радио-, ИК- и оптическом диапазонах.** Автор Дж. М. Кордес рассматривает влияние среды между источником импульсов и наблюдателем на параметры принимаемых импульсов. Для радиоволн существенно

рассеяние на неоднородностях межзвездной плазмы. Для оптического и инфракрасного диапазона основную роль играет поглощение и рассеяние на межзвездных пылинках. Оценки показывают, что рассеяние пылью может ограничить дальность приема коротких лазерных импульсов 10-ю килопарсеками в ИК и 2-мя килопарсеками в оптике.

• **Мощные лазеры.** В. Крупке оценивает возможности существующих и проектируемых мощных лазеров. В том числе рассмотрены химические лазеры непрерывного излучения, разработанные в рамках проекта “Стратегической оборонной инициативы” США. Эти лазеры имеют мощность порядка нескольких мегаватт и работают в ближнем ИК-диапазоне. Импульсные лазеры, применяемые в экспериментах по управляемому термоядерному синтезу, могут в ближайшие годы достичь энергий в импульсе порядка мегаджоулей при длительности импульса порядка наносекунды (10^{-9} с). Идет работа над еще более мощными лазерами диапазона $\sim 10^{-12}$ с с мощностью в максимуме импульса до 10^{15} Вт. Если земляне способны создать такие лазеры, их могут построить и ВЦ, что лишней раз подтверждает необходимость наблюдений SETI в оптическом и ИК-диапазонах.

• **Функции светимости ВЦ.** Авторы приложения М. Лэмптон, С. Шостак и Дж. Дреер обсуждают оптимизацию стратегии SETI на основе ожидаемого распределения ВЦ по их “светимостям”. С этой точки зрения решается вопрос, что целесообразней: сплошной обзор неба или более чувствительный направленный поиск в некоторых избранных объектах? В различных предположениях строится “функция светимости” ВЦ $n(L)$ (число ВЦ на небе “ярче”, чем заданная величина L). Общий вид функции $n(L) = A\rho L^{-p}$, где A пропорционально среднему числу ВЦ в единице объема, ρ — плотность вещества (предполагается, что ВЦ более многочисленны там, где вещество более сконцентрировано), p — показатель степени ($p > 0$). Сделан вывод о том, что при заданных мощностях передатчиков полный обзор неба охватывает больший объем в пространстве поиска, чем направленные наблюдения.

• **Различные статистические факты.** К. Каллерс дает краткий обзор некоторых основных понятий, касающихся обработки сигналов. Рассмотрены свойства гауссова шума, теорема Найквиста, требуемая скорость кодирования принятого сигнала, алгоритм быстрого преобразования Фурье (Fast Fourier Transform, FFT).

• **Биографии участников.** Приводятся краткие жизнеописания всех участников Рабочей группы и их вклад в проблему SETI.

Основные выводы Рабочей группы состоят в сле-

дующем. Залог успеха будущих поисков ВЦ — в развитии технологий, в первую очередь вычислительных. Главное направление развития компьютерных технологий (закон Мура) позволяет проводить спектральный анализ в очень широком диапазоне и наблюдать одновременно целый набор объектов. По прогнозу авторов книги “SETI 2020: A Roadmap for the Search for Extraterrestrial Intelligence”, к 2020 году технология SETI будет в миллион раз мощнее нынешней, что окажет большое влияние не только на масштабы поиска ВЦ, но и на развитие всей астрономии в целом.

Список литературы

- Арден, Смитс (Ardenne A., Smits F.M.A.), 1996, Technical aspects for the Square Kilometer Array interferometer, ESA Workshop on Large Antennas in Radio Astronomy, The Netherlands, 117–128
- Коккони, Моррисон (Cocconi G., Morrison P.), 1959, Searching for interstellar communications, Nature, **184**, N 4690, 844–846
- Square Kilometre Array, international radio telescope for the 21st century, http://www.skatelescope.org/pages/page_astronom.htm.
- Ответ с Земли, 1994, Информационный Бюллетень SETI, N 4, 1–4
- Рудницкий Г.М., 1999, Стратегия поиска узкополосных сигналов ВЦ, Информационный Бюллетень SETI, N 15, 2–19
- SETI 2020: A Roadmap for the Search for Extraterrestrial Intelligence, 2002, Eds. R.D. Ekers, D.K. Cullers, J. Billingham, L.K. Scheffer, Prologue by Philip Morrison. Mountain View, CA: SETI Press