

100 звезд и ВЦ: где Они?

А. В. Миронов¹, Н. С. Кардашев², Л. М. Гиндилис¹, А. И. Захаров¹, М. М. Кацова¹,
К. В. Куимов¹, А. С. Расторгуев¹, Г. М. Рудницкий¹, В. А. Самодуров¹,
М. Ю. Тимофеев, А. М. Черепашук¹, Л. Н. Филиппова³

¹ Астрономический институт им. Штернберга,

² Астрокосмический центр ФИАН,

³ Научно-культурный центр SETI, Москва

Проанализированы списки Тёрнбулл и Тартер звезд кандидатов для поиска признаков высокотехнологичных цивилизаций. Наибольшее внимание уделено списку ближайших к Солнцу объектов. Показано, что из 107 ближайших систем, содержащих 157 компонентов, 56 могут рассматриваться как объекты для SETI. Приведен список этих объектов. На основе анализа объектов каталога ближайших звезд Глизе и Ярайса составлен новый список кандидатов для поиска высокотехнологичных внеземных цивилизаций. При составлении этого списка учитывались новые данные о возрасте этих звезд, хромосферной активности и периодах осевого вращения. В результате составлен список из 505 звезд, представляющих интерес для программ SETI. Наконец, из них была отобрана 91 звезда из звезд, расположенных в северном полушарии неба, и для которых на основе многоцветной фотометрии установлено, что их металличность близка к солнечной. Приведен список этих объектов. Положения отобранных звезд были сопоставлены с положениями радиоисточников обзора NVSS и каталога точечных источников IRAS. Напрямую избытки радио- и ИК-излучения не выявлены.

100 STARS AND EXTRA-TERRESTRIAL INTELLIGENCE: WHERE ARE THEY?, by A.V.Mironov, N.S.Kardashev, L.M.Gindilis, A.I.Zakharov, M.M.Katsova, K.V.Kuimov, A.S.Rastorguev, G.M.Rudnitsky, V.A.Samodurov, M.Yu.Tomofeev, A.M.Cherepaschuk, L.N.Filippova. The Turnbull and Tarter's lists of star-candidates for searching of high technology extraterrestrial civilizations were examined carefully. It was shown that 56 stars from 157 components in 107 nearest star systems can rate an SETI objects. The list of the objects is given. The new candidates list for searching of high technology extraterrestrial civilizations was compiled from the objects of the Glise and Jahreiss's catalogue of nearest stars. A new data of star ages, chromosphere activity and axial rotation periods was taken into account. As a result the list of 505 stars for SETI program was created. Finally the 91 stars from 505 named above were selected. They are stars at the northern sky with solar metal abundances. The list of the objects is given too. Coordinates of that 91 stars was compared with objects of NVSS survey and IRAS point objects catalogue. No excesses of radio of infrared radiation are discovered.

1. Введение

Существуют два подхода к поиску радиосигналов внеземных цивилизаций (ВЦ). Один связан с поисками сигналов от источников с неизвестной локализацией. Для этого проводятся обзоры неба в радио- и микроволновом диапазонах на частотах, которые считаются предпочтительными для SETI. Второй подход связан с поисками сигналов от определенных объектов (целевой поиск). В этом качестве обычно используются звезды, хотя проводились исследования и других объектов: ближай-

ших галактик, шаровых скоплений, мазерных источников OH и H₂O. В рамках этой стратегии возникает проблема выбора звезд, у которых можно ожидать наличие жизни и цивилизаций.

На протяжении всего времени существования проблемы SETI было составлено много списков звезд, в системах которых разные авторы считали наиболее вероятным нахождение планет, пригодных для жизни и для разумной жизни. Прежде всего, следует указать на работы Д. Содерблома (1985, 1986), где были сформулированы критерии, которым должны удовлетворять звезды, спо-

способные иметь планеты с развитыми технологическими цивилизациями, и приведены списки звезд, удовлетворяющих этим критериям. Ключевым было требование к возрасту звезды, который должен быть достаточно большим, чтобы на планетах ее системы успела сформироваться и развиться технологическая цивилизация. Содерблом оценил его нижний предел в 3 миллиарда лет, что считается разумным и в настоящее время. В упомянутых работах внимание было привлечено только к звездам солнечного типа. Сейчас в списки включают также красные карлики спектральных классов К и М, которые являются основными представителями звездного населения в окрестностях Солнца.

Признаками высокоразвитой технологической цивилизации считаются два эффекта.

Первый — это наличие инфракрасного избытка на длинах волн $10\text{ мкм} < \lambda < 10\text{ см}$, не соответствующего спектральному типу звезды и порождаемого веществом с температурой 300 К и менее. Такой избыток можно трактовать как свидетельство наличия астроинженерных конструкций (АК) типа сфер Дайсона. В настоящее время инфракрасные потоки можно оценивать по данным каталогов IRAS (1988) и 2MASS (2004).

Второй — это наличие радиоизлучения в метровом и сантиметровом диапазоне, существенно превышающего по мощности радиопоток от Солнца. Такое радиоизлучение может свидетельствовать о существовании искусственных радиопередатчиков. Кроме того, можно надеяться перехватить направленную передачу и в каком-либо диапазоне. Для оценки радиопотоков пригодны, например, данные каталога NRAO VLA Sky Survey (NVSS), относящиеся к полосе частот около 1.4 ГГц (21 см).

Вероятность обнаружения нетривиального радиоизлучения от ближайших звезд увеличивается в связи с вводом в строй в северной части Калифорнии системы радиоантенн, состоящей из 350 6-метровых “тарелок” на площади $100 \times 100\text{ м}$. В стадии проектирования и строительства этот проект обычно назывался “телескоп — 1 гектар”. Предполагается, что этот инструмент, который ныне называется “Антенной решеткой имени Аллена” (Allen Telescope Array, ATA), будет в состоянии за один год оценить потоки радиоизлучения в интервале частот 0.5–11 ГГц более чем для 10000 звезд. В результате возникла задача создания новых списков звезд-кандидатов для поиска признаков высокотехнологичных цивилизаций. С подобными списками недавно выступили американские исследовательницы Маргарет Тэрнбулл и Джилл Тартер (2003а, 2003б).

2. Списки Тэрнбулл и Тартер

Первый из списков, представленных Тэрнбулл и Тартер, основан на данных каталога *Гиппаркос*. Сначала из полного числа его 118 218 звезд были отобраны непременные звезды с надежными определениями параллакса и показателей цвета. Их оказалось 64 120. Далее последовательно были отброшены: звезды-гиганты; звезды ранних спектральных классов; звезды, характеристики которых указывают на возраст менее 3 млрд. лет; звезды с признаками низкой ($[\text{Fe}/\text{H}] < -0.4$) металличности; звезды, входящие в состав кратных систем, с указаниями на возможную нестабильность орбит; и, наконец, звезды, в планетных системах которых наличие планет-гигантов в зоне обитания препятствует нахождению там планет, подобных Земле. В результате, было оставлено 17 129 объектов. Этот список Тэрнбулл и Тартер называют *Каталогом ближайших звездных систем, пригодных к обитанию* (HabCat).

Второй, гораздо более обширный список, основан на данных каталога Тихо-2. На базе фотометрии в полосах B_T, V_T и собственных движений были получены оценки абсолютных звездных величин, позволяющие статистически отделить гиганты от карликов. В результате, из звезд с надежными собственными движениями и надежными показателями цвета $B_T - V_T$ было отобрано 256 610 объектов. Этот список авторы рассматривают как дополнительный к HabCat список звезд-кандидатов для поиска цивилизаций с развитой технологией.

Очевидно, что обширные списки, содержащие десятки и сотни тысяч кандидатов, пригодны не для всякой наблюдательной программы. Понимая это, Тэрнбулл и Тартер привели во второй своей статье (2003б) более короткие списки. Один — это полный набор членов 100 ближайших к Солнцу систем, подготовленный коллективом исследователей ближайших звезд RECONS (Research Consortium on Nearby Stars, <http://www.chara.gsu.edu/RECONS>). Далее мы будем для краткости называть его “список 100N”. Около трети его объема — слабые звезды, не вошедшие в каталог *Гиппаркос*, и, как следствие, не включенные в HabCat. Другой список — это каталог галактических рассеянных скоплений (14 объектов), возраст которых превышает 2.5 миллиарда лет. И, наконец, последний список — это 25 объектов, входящих в HabCat, подобных Солнцу, расположенных не далее 25 пк от Солнца, и, в соответствии со специальным статистическим критерием, предложенным Тэрнбулл и Тартер, представляющих наибольший интерес для программ SETI (приоритетный список). Далее мы будем называть его “список-25P”.

107 ближайших звездных систем (157 объектов)

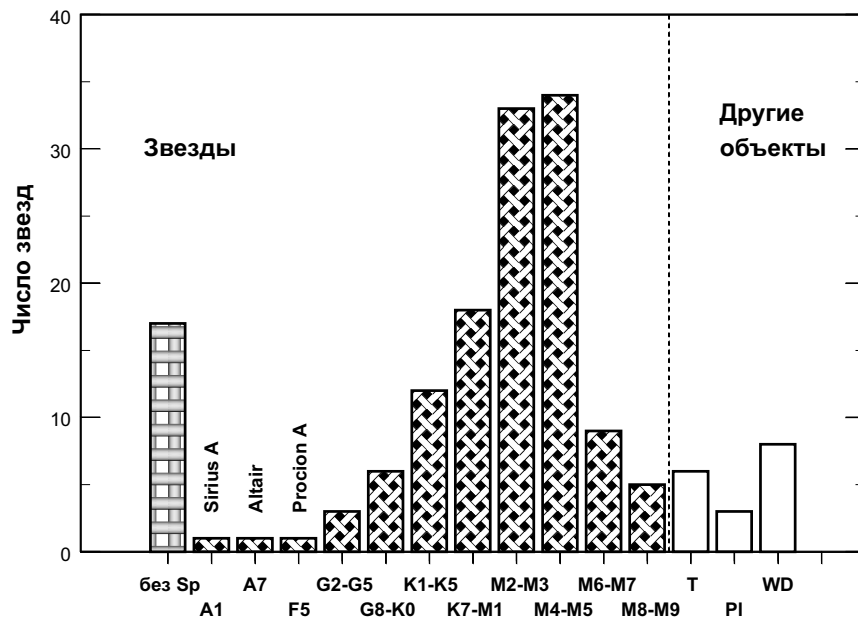


Рис. 1: Распределение объектов списка ближайших систем “100N” по спектральным классам.

Наиболее трудным для оценки параметром является возраст. Эволюционные треки карликов спектральных классов более поздних, чем F5, в течение времени пребывания звезды на главной последовательности идут вдоль нее, поэтому невозможно различить эффекты возраста и массы. Для оценки возраста приходится оценивать косвенные признаки, статистически с ним связанные, а именно: уровень хромосферной активности (эмиссия в линиях H и K CaII и бальмеровских линиях водорода), металличность, кинематические характеристики, уровень коронального радио- и рентгеновского излучения, скорость осевого вращения и т.п. Подчеркнем, что эти критерии являются статистическими и не могут однозначно указывать на возраст конкретной звезды.

Список “100N” состоит из 107 систем, которые включают 157 компонентов. Максимальное удаление от Солнца составляет 6.86 пк. Ярчайшими по абсолютной величине в этом списке являются Сириус-А (A1V), Альтаир (A7V) и Прокцион-А (F5V). Три звезды принадлежат интервалу спектральных классов G2-G5. Это α Cen-A, η Cas-A и 82 Eri. Ещё шесть звезд имеют спектральные классы G8-K0. Это δ Pav, ξ Boo-A, τ Cet, α Cen-B, σ Dra и 70 Oph-A. В интервале спектральных классов K1-K5 находятся 12 звезд; в их число входит известная система ϵ Eri. Из 157 компонентов только 24 объекта относятся к числу звезд спектральных типов более ранних, чем K6. Все перечислен-

ные объекты уже были предметом пристального внимания с точки зрения SETI, но проявлений деятельности высокотехнологичных цивилизаций на них обнаружено не было.

99 звезд имеют спектральные классы K6-M9. Кроме того, для 17 объектов, являющихся слабыми и близкими компонентами визуальных двойных, спектральные типы точно не установлены. Грубые оценки их абсолютного блеска и массы указывают на то, что все они — карлики класса M.

Ещё 17 объектов не являются звездами главной последовательности. Это шесть коричневых карликов, восемь белых карликов и три внесолнечные планеты-гиганта.

Итак, среди звезд списка “100N” с надежно установленными спектральными классами лишь 20 % относятся к интервалу спектральных классов A0-K5. Остальные 80 % — звезды спектральных классов K6-M9. На долю этих 80 % приходится более 50 % массы и менее 0.5 % светимости. Распределение объектов списка “100N” по спектральным классам показано на рис. 1.

Возможностей для существования высокотехнологичных цивилизаций в системах звезд более поздних спектральных классов гораздо меньше, чем в системах G-звезд. Ширина зоны обитания вблизи поздних карликов мала, и, следовательно, мала вероятность нахождения там землеподобной планеты. Однако общее количество M-

карликов весьма велико, что в значительной степени компенсирует этот эффект.

Многие М-карлики в ближайших системах показывают существенную хромосферную активность, что указывает на их относительно небольшой возраст. Рассмотрим этот вопрос более подробно. Хромосферная активность звезды обычно характеризуется эквивалентной шириной эмиссий

в водородных и кальциевых линиях, а также интенсивностью излучения короны в мягком рентгеновском диапазоне. Индексы эмиссионной активности в линиях H и K Ca II измерены лишь для немногих объектов списка "100N". Для 45 звезд эквивалентная ширина $W_{H\alpha}$ эмиссии в H α приведена в каталоге вспыхивающих звезд (Гершберг и др., 1999).

Таблица 1: Звезды списка 100N, оставленные в качестве кандидатов SETI (Список 56N")

| Gliese | HabCat | Sp | V | M _V | mass | name |
|------------|--------|--------|-------|----------------|-------|----------------|
| GJ 559 A | no | G2 V | 0.01 | 4.38 | 1.144 | alp Cen A |
| GJ 559 | no | K0 V | 1.34 | 5.71 | 0.916 | alp Cen B |
| GJ 699 | no | M4.0 V | 9.53 | 13.22 | 0.166 | Barnard's Star |
| GJ 411 | no | M2.0 V | 7.47 | 10.44 | 0.464 | Lalande 21185 |
| GJ 887 | no | M1.5 V | 7.34 | 9.75 | 0.529 | Lacaille 9352 |
| GJ 447 | yes | M4.0 V | 11.13 | 13.51 | 0.156 | Ross 128 |
| GJ 820 B | no | K7.0 V | 6.03 | 8.31 | 0.630 | 61 Cyg B |
| GJ 820 A | no | K5.0 V | 5.21 | 7.49 | 0.703 | 61 Cyg A |
| GJ 725 A | no | M3.0 V | 8.90 | 11.16 | 0.351 | |
| GJ 725 B | no | M3.5 V | 9.69 | 11.95 | 0.259 | |
| GJ 15 A | no | M1.5 V | 8.08 | 10.32 | 0.486 | GX And |
| GJ 15 B | na | M3.5 V | 11.06 | 13.30 | 0.163 | GQ And |
| GJ 845 A | no | K5 Ve | 4.69 | 6.89 | 0.766 | eps Ind A |
| GJ 71 | no | G8 Vp | 3.49 | 5.68 | 0.921 | tau Cet |
| GJ 273 | yes | M3.5 V | 9.86 | 11.97 | 0.257 | Luyten's Star |
| GJ 191 | no | M1.5 V | 8.84 | 10.87 | 0.393 | Kapteyn's Star |
| GJ 825 | yes | M0.0 V | 6.67 | 8.69 | 0.600 | AX Mic |
| GJ 628 | yes | M3.0 V | 10.07 | 11.93 | 0.261 | Wolf 1061 |
| GJ 1 | no | M3.0 V | 8.55 | 10.35 | 0.481 | |
| GJ 687 | no | M3.0 V | 9.17 | 10.89 | 0.390 | |
| GJ 1002 | na | M5.5 V | 13.76 | 15.40 | 0.109 | |
| GJ 876 A | no | M3.5 V | 10.17 | 11.81 | 0.273 | Ross 780 |
| GJ 380 | yes | K7.0 V | 6.59 | 8.16 | 0.642 | |
| GJ 832 | yes | M3.0 V | 8.66 | 10.20 | 0.503 | |
| GJ 682 | yes | M4.5 V | 10.95 | 12.45 | 0.213 | |
| GJ 166 A | no | K1 Ve | 4.43 | 5.92 | 0.887 | omi 2 Eri |
| GJ 445 | no | M3.5 V | 10.79 | 12.14 | 0.240 | |
| GJ 1005 A | no | M4.0 V | 11.58 | 12.93 | 0.177 | |
| GJ 526 | yes | M1.5 V | 8.46 | 9.79 | 0.526 | Wolf 498 |
| GJ 169.1 A | no | M4.0 V | 11.04 | 12.32 | 0.224 | Stein 2051 |
| GJ 251 | yes | M3.0 V | 10.02 | 11.29 | 0.334 | |
| GJ 754 | na | M4.5 V | 12.23 | 13.45 | 0.158 | |
| GJ 764 | no | K0 V | 4.68 | 5.88 | 0.892 | sig Dra |
| GJ 229 A | yes | M1.0 V | 8.12 | 9.31 | 0.556 | |
| GJ 693 | yes | M4.0 V | 10.75 | 11.92 | 0.262 | |
| GJ 752 B | na | M8.0 V | 17.50 | 18.67 | 0.073 | |
| GJ 752 A | yes | M3.0 V | 9.11 | 10.28 | 0.494 | Wolf 1055 |
| GJ 213 | no | M4.0 V | 11.51 | 12.67 | 0.196 | Ross 47 |
| GJ 300 | na | M3.5 V | 12.07 | 13.22 | 0.166 | |
| GJ 570 A | no | K5 Ve | 5.75 | 6.90 | 0.764 | |
| GJ 908 | no | M1.0 V | 8.99 | 10.12 | 0.507 | |
| GJ 34 B | na | K7.0 V | 7.51 | 8.64 | 0.604 | eta Cas B |
| GJ 34 A | no | G3 V | 3.45 | 4.58 | 1.105 | eta Cas A |
| GJ 588 | yes | M3.0 V | 9.31 | 10.44 | 0.464 | |
| GJ 664 | no | K5 Ve | 6.33 | 7.45 | 0.707 | 36 Oph C |

Таблица 1: Звезды списка 100N, оставленные в качестве кандидатов SETI (Список 56N) (продолжение)

| Gliese | HabCat | Sp | V | M _V | mass | name |
|----------|--------|----------|-------|----------------|-------|----------|
| GJ 783 A | no | K3 V | 5.32 | 6.41 | 0.822 | |
| GJ 783 B | na | M4.0 V | 11.50 | 12.59 | 0.202 | |
| GJ 139 | no | G5 V | 4.26 | 5.35 | 0.971 | 82 Eri |
| GJ 780 | yes | G8 V | 3.56 | 4.63 | 1.095 | del Pav |
| GJ 784 | yes | M0.0 V | 7.96 | 9.00 | 0.577 | |
| GJ 661 A | yes | M3.0 V J | 9.93 | 10.90 | 0.389 | |
| GJ 661 B | na | - | 10.35 | 11.32 | 0.330 | |
| GJ 892 | no | K3 V | 5.56 | 6.49 | 0.812 | |
| GJ 625 | yes | M1.5 V | 10.10 | 11.01 | 0.372 | |
| GJ 408 | yes | M2.5 V | 10.02 | 10.90 | 0.389 | Ross 104 |
| GJ 880 | yes | M1.5 V | 8.66 | 9.48 | 0.545 | Ross 671 |

Наибольший объем данных о корональной активности звезд списка “100N” получен в измерениях интенсивности мягкого рентгеновского излучения, проведенных на спутнике ROSAT. Мы выбрали данные о рентгеновской светимости L_X для 96 звезд. Используя соотношение между спектральным классом и радиусом поздних карликов (Гершберг, 2002, стр. 33), мы на основе рентгеновских потоков L_X вычислили величины поверхностных потоков F_X . Стемпень (1989) провел теоретические расчеты эволюции вращения звезд и установил статистическую связь между логарифмом поверхностного потока F_X и возрастом. Его результаты показывают, что для самых молодых звезд $\lg F_X \approx 7$, а при возрасте около 3 миллиардов лет эта величина убывает до $\lg F_X \approx 5.2$.

Исключив из списка “100N” незвездные объекты, коричневые и белые карлики, звезды спектральных классов ранее F5, звезды с высоким уровнем рентгеновской светимости ($\lg F_X > 5.2$), звезды с водородной эмиссией ($W_{H\alpha} > 0$), а также звезды, для которых нет данных либо о спектрах, либо о рентгеновских потоках или водородной эмиссии, мы получили список, в который вошли 56 звезд. Он представлен в табл.1. Будем называть его списком “56N”.

В первой колонке табл.1 приведен номер по КATALOGУ Глизе и Ярайса (CNS3, 1991). Во второй колонке указана принадлежность звезды к КATALOGУ HabCat Тэрнбулл и Таргер (2003а). Символ “yes” означает, что звезда входит в HabCat (таких звезд 19), “no” — что звезда была исключена по одному из критериев, принятых Тэрнбулл и Таргер (таких звезд 29), и “na” означает, что звезда не является объектом каталога *Hipparcos* и, следовательно, изначально не входила в число звезд для HabCat (таких звезд 8).

В списке “100N” содержатся еще 8 звезд, которые входят в HabCat, но не попали в “56N”. При-

чины этого следующие. Звезды GJ 674, GJ 205, GJ 338A и GJ 338B, согласно данным КATALOGА Гершберга и др. (1999), имеют поверхностный рентгеновский поток, превышающий принятое предельное значение $F_X = 5.2$. Для звезд LP 816-0606, GJ 555, GJ 581 и GJ 829A нет в наличии оценок параметров хромосферной активности.

Из числа объектов, входящих в 100 ближайших систем, по результатам эксперимента IRAS получены значения инфракрасных потоков в полосах 12, 25, 60 и 100 мкм соответственно для 29, 22, 6 и 3 звезд. Несмотря на небольшое число доступных измерений, мы построили график, иллюстрирующий соотношение между звездными величинами в визуальном и инфракрасном спектральных интервалах в надежде получить указание на избытки ИК-величин. На рис. 2 показано соотношение между спектральными классами и показателем цвета $V-M_{12}$ для всех доступных данных у звезд из списка “100N”. Заполненными кружками выделены объекты списка “56N”. Явных указаний на существование ИК-избытков не обнаруживается.

Неподалеку от трех объектов списка “100N” расположены радиоисточники, обнаруживаемые в диапазоне 1.4 ГГц по данным программы *NRAO VLA Sky Survey (NVSS)*. Это объекты GJ644A = HIP 82817, GJ285 = HIP 37766 и GJ896A = HIP 116132 = EQ Peg. Все они обладают сильной эмиссией H α и большой рентгеновской светимостью, поэтому не вошли в список “56N”.

3. Новый список кандидатов для SETI

Мы составили новый список кандидатов для поиска высокотехнологичных ВЦ. Причиной, побудившей сделать это, было появление новых работ, которые не были учтены Тэрнбулл и Тар-

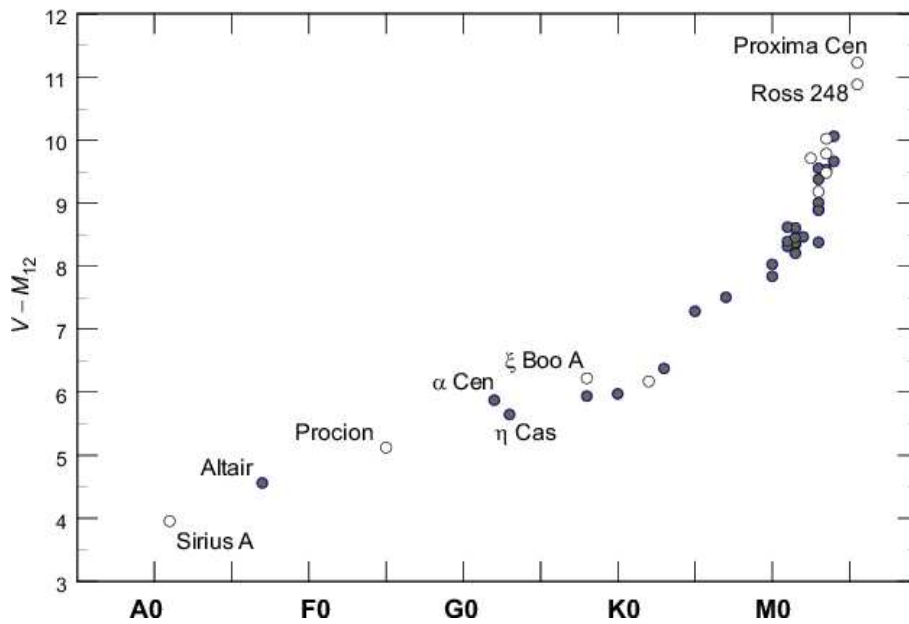


Рис. 2: Зависимость показателя цвета $V - M_{12}$ от спектрального класса для звезд списка “100N”. Заполненными кружками показаны звезды, оставленные в списке “56N”.

тер. Это, прежде всего, недавно опубликованный “Женевско-Копенгагенский обзор звезд в окрестностях Солнца” (Нордстрем и др., 2004). Он содержит сведения о возрастах, металличностях и кинематических параметрах для примерно 14 тысяч карликов спектральных типов F и G. Кроме того, Тернбулл и Тартер не приняли во внимание данные такой важной работы, как “Каталог вспыхивающих звезд типа UV Кита и родственных объектов в окрестностях Солнца” (Гершберг и др., 1999).

За основу нами был принят известный Каталог ближайших звезд Глизе и Ярайса CNS3 (1991, третья версия, CDS: catalogue V/70A). Всего каталог CNS3 содержит 3802 объекта и Солнце.

Отметим, что после появления каталога *Hipparcos* обнаружилось серьезное противоречие в определениях расстояний ближайших звезд. На этот факт указывали еще авторы каталога *Hipparcos* (Турон, 1995), который содержит 1736 общих с CNS3 звезд. Сравнение расстояний до них показано на рис. 3. Параллаксы общих звезд в 1237 случаях сходятся с разницей, не превышающей 30%. Но для 499 объектов (около 29%) различие параллаксов превышает 30%. Из рассмотренной выборки по данным *Hipparcos* 1063 звезды находятся ближе 25 пк. Из CNS3 же следует, что таких звезд 1495. В CNS3 подтверждается 25-парсексовая близость для 91% объектов из *Hipparcos*. Наоборот, по данным *Hipparcos* в сферу радиусом 25 пк попадают лишь 64.5% близких объектов CNS3! Причина таких значительных расхождений должна быть установлена дополнительными исследова-

ниями. Условие $R \leq 25$ пк одновременно в двух каталогах выполняется для 965 звезд выборки.

При выборе наших кандидатов для SETI мы исходили из необходимости отобрать примерно 100 объектов, для которых достаточно надежно определены основные параметры: расстояние, спектральный тип, возраст и пр. В отличие от Тэрнбулла и Тартера, которые ставили задачей создать обширные списки, мы сразу исключали звезды, для которых соответствующие параметры не были определены.

Чтобы получить сведения о возрастах объектов каталога CNS3, были привлечены данные из 7 каталогов, сведения о которых приведены в табл. 2. В ее последнем столбце указано число общих с CNS3 звезд каждого каталога. Все данные получены с помощью ресурса *VizieR*.

Кроме оценок возрастов мы использовали данные Райта и др. (2004) о скоростях осевого вращения звезд. Корреляция между возрастом и периодом вращения звезды показывает, что если возраст звезды превышает 3 миллиарда лет, то период вращения с учетом всех ошибок не может быть меньше 10 суток.

Отбор наших кандидатов проводился в следующем порядке.

Вначале были удалены все звезды, для которых параллакс в каталоге CNS3 или в *Hipparcos* был менее 0^m040 . Далее последовательно были удалены:

— звезды, для которых не было данных ни о возрастах, ни о периодах осевого вращения;

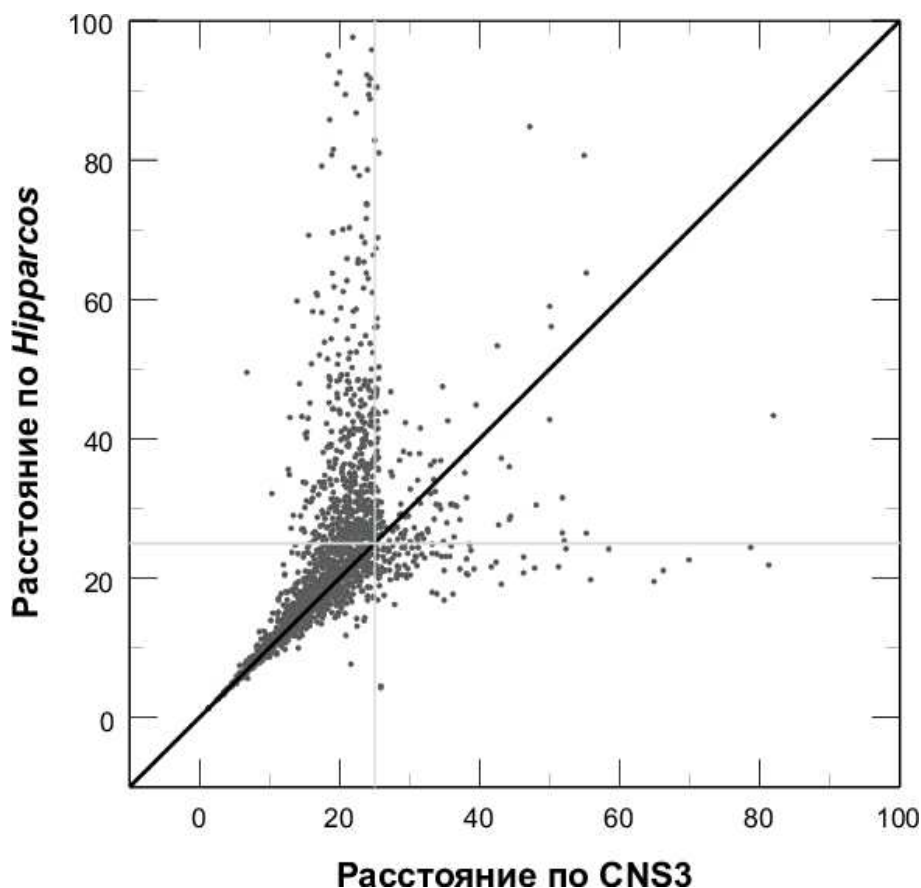


Рис. 3: Сравнение расстояний (в пк) ближайших звезд по данным *Hipparcos* (ордината) и *CNS3* (абсцисса).

- звезды, спектральные классы которых более ранние, чем F5, в том числе звезды со спектральными типами a , f , и $f - g$;
- звезды, имеющие классы светимости II, III и III-IV, а также звезды, имеющие префикс “ g ” в Гарвардской классификации;
- белые и коричневые карлики;
- звезды, имеющие противоречия между спектральным классом и абсолютной звездной величиной;
- звезды, имеющие противоречия между спектральным классом и показателем цвета $B_T - V_T$;
- звезды, для которых в большинстве привлеченных каталогов оценка возраста не превышала 2.5 Гуг.

Несмотря на то, что индивидуальные оценки возрастов имеют большую неопределённость, данные разных каталогов явно коррелируют друг с другом. Найденные корреляции показаны на рис.4. На нем видно, что если возраст меньше 3 млрд. лет, это подтверждается почти всеми каталогами одновременно.

В результате был составлен список из 505 звезд.

Его можно принимать за основу при формировании дальнейших выборок. В число этих 505-ти входят 188 М-карликов.

Чтобы создать более краткий список, пригодный для наблюдений в России, мы провели следующую процедуру.

Во-первых, из списка 505-ти звезд мы отобрали только те, которые содержатся в Тянь-Шаньском “Каталоге *WBVR*-величин ярких звезд северного неба” (Корнилов и др., 1991). Для этих звезд имеется высокоточная широкополосная фотометрия в четырех полосах. Таких объектов оказалось 161.

Во-вторых, было учтено то, что в окрестностях Солнца содержится как минимум два типа G-звезд, отличающихся по металличности. Из-за этого на двухцветных диаграммах в разных фотометрических системах Солнце лежит далеко от центра распределения звезд спектрального класса G2V (Харитонов и др., 1994). Значительное число близких G-звезд на двухцветных диаграммах лежит близко к последовательности членов Гиад. Возраст Гиад составляет 600–700 миллионов лет. Члены этого скопления более богаты металлами,

Таблица 2:

| Название каталога | Авторы | Ссылка | Кол-во объектов CNS3 |
|--|---|--|----------------------|
| The Geneva-Copenhagen survey of the Solar neighbourhood. Ages, metallicities, and kinematic properties of ~ 14000 F and G dwarfs. | <i>Nordstrom B., Mayor M., Andersen J., Holmberg J., Pont F., Jorgensen B.R., Olsen E.H., Udry S., Mowlavi N.</i> | <Astron. Astrophys., 419, 989 (2004)> | 648 |
| Catalogue of ages, metallicities, orbital elements and other parameters for nearby F stars. | <i>Marsakov V.A., Shevelev Yu.G.</i> | <Bull. Inf. CDS 47, 13 (1995)> | 259 |
| Metallicity effects on the chromospheric activity-age relation for late-type dwarfs | <i>Rocha-Pinto H.J., Maciel W.J.</i> | <Mon. Not. R. Astron. Soc. 298, 332 (1998)> | 128 |
| Lithium abundances of the local thin disc stars. | <i>Lambert D.L., Reddy B.E.</i> | <Mon. Not. R. Astron. Soc., 349, 757-767 (2004)> | 128 |
| The solar neighbourhood age-metallicity relation. Does it exist? | <i>Feltzing S., Holmberg J., Hurley J.R.</i> | <Astron. Astrophys. 377, 911 (2001)> | 158 |
| HIPPARCOS age-metallicity relation of the solar neighbourhood disc stars. | <i>Ibukiyama A., Arimoto N.</i> | <Astron. Astrophys. 394, 927 (2002)> | 147 |
| Lithium abundances for 185 main-sequence stars. | <i>Chen, Y.Q., Nissen, P.E., Benoni, T., Zhao G.</i> | <Astron. Astrophys. 371, 943 (2001)> | 89 |
| Chromospheric Ca II emission in nearby F, G, K, and M stars. | <i>Wright, J.T., Marcy, G.W., Butler, R.P., Vogt, S.S.</i> | <Astrophys.J.Suppl.Ser., V.152, p.261.(2004)> | 278 |

чем Солнце. Различие металличностей составляет около 0.2 dex, и поэтому на двухцветной диаграмме точка Солнца сдвинута на 0^m05 от линии Гиад по направлению вектора деблакетирования (Миронов и др., 1998). Высокоточная фотометрия из Тянь-Шаньского каталога позволяет обнаруживать такие тонкие эффекты. Учитывая сказанное, мы исключили из окончательного списка звезды, находящиеся ниже линии Гиад на диаграмме ($W-B, B-V$). В середине последовательности оставленных звезд находится точка Солнца. Скорее всего, исключенные звезды сходны с членами Гиад и значительно моложе Солнца, несмотря на то, что из литературных данных для них известны оценки возраста, превышающие 2–3 Gyr.

В довершение, были удалены звезды, у которых пекулярная пространственная скорость превышает 60 км/с. Эти объекты, имеющие кинематические характеристики звезд гало Галактики, по статистике обладают экстремально низкой металличностью, что может препятствовать нормальному образованию планет, подобных Земле.

В итоге, был оставлен 91 объект. Их список приведен в табл.3. Далее мы будем обозначать его как “список 91”. В трех первых колонках даны обозначения звезд по каталогам HD, CNS3 и Hipparcos, соответственно. В 4-й колонке — спектральный класс; в 5-й — параллакс по данным каталога CNS3, в 6-й — параллакс по каталогу Hipparcos, в

7-й — значение возраста в миллиардах лет, усредненное по всем использованным каталогам; в 8-й — период осевого вращения в сутках; в 9-й — полная пространственная скорость в км/с.

В 10-м столбце повторен номер по каталогу HD; в 11-м, 12-м, 13-м и 14-м столбцах, соответственно, даны звездная величина V и показатели цвета $W-B$, $B-V$ и $V-R$ по данным Тянь-Шаньского фотометрического каталога. В 15-м столбце приведен номер звезды по Общему каталогу переменных звезд, если она в него входит. В 16-м столбце дан номер звезды по одному из каталогов, где имеется указание на кратность этой системы. В 17-м столбце — угловое расстояние между двумя ближайшими компонентами кратной системы, а в 18-м — то же расстояние, выраженное в астрономических единицах. Наконец, в 19-м столбце приведено значение инфракрасного потока в полосе 12 мкм по данным каталога IRAS.

Положение на диаграмме $W-B, B-V$ всех кандидатов для SETI, входящих в Тянь-Шаньский каталог, показано на рис. 5. Заполненные кружки соответствуют 91 отобранной звезде. Все они на диаграмме Герцшпрунга-Рессела лежат между начальной главной последовательностью и точками поворота.

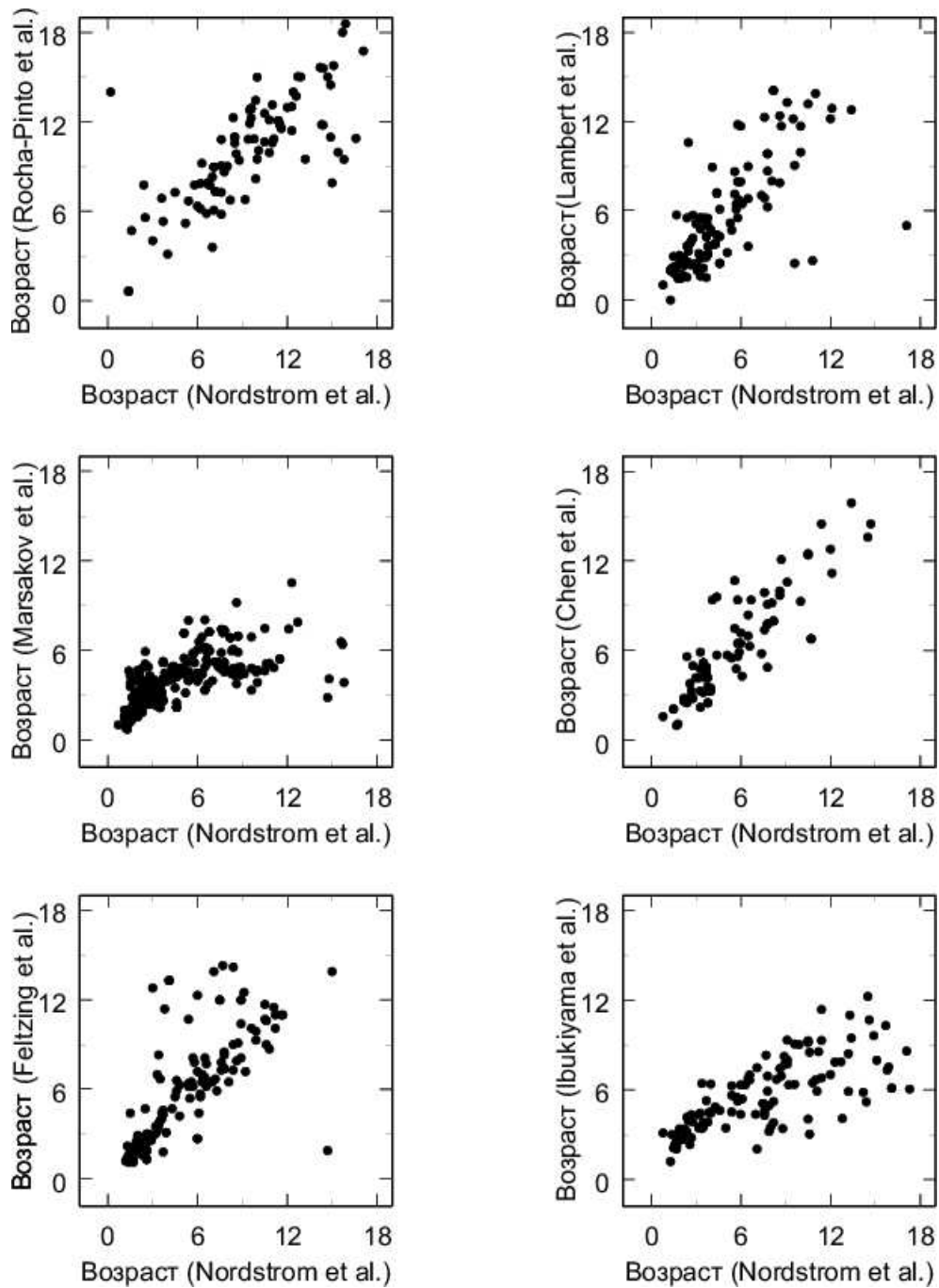


Рис. 4: Сравнение возрастов звезд по данным каталогов, перечисленных в таблице 3.

4. Обсуждение результатов

Мы сопоставили положение отобранных звезд на небесной сфере с положениями радиосточников из каталога NVSS, составленного на основе наблюдений на частоте 1.4 ГГц. 4 объекта NVSS находятся менее чем в одной угловой минуте от соответствующих звезд HIP 25110, 79607 79492 и 107350. Оценка линейных расстояний показывает, что расстояния между радиосточниками и звездами не

меньше, чем 300–900 а.е.

В настоящее время на телескопе РТ22 в Пушчинской радиоастрономической обсерватории получены радиоспектры семи объектов из составленных ранее списков кандидатов программы SETI. Признаков радиосигнала, превышающего уровень шума, не обнаружено. Это иллюстрирует рис. 6, на котором приведены примеры двух полученных радиоспектров.

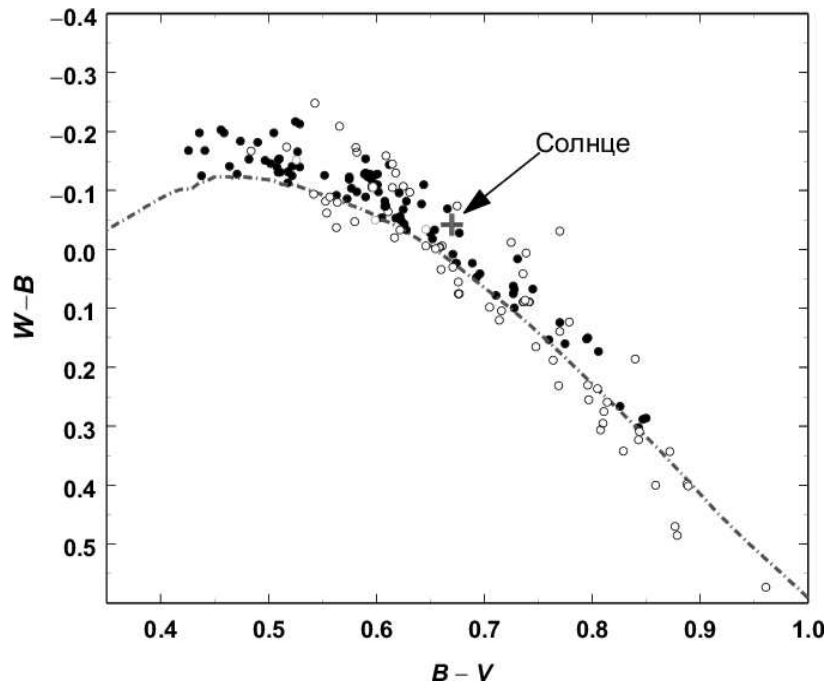


Рис. 5: Положение на диаграмме $W-B$, $B-V$ звезд – кандидатов для SETI, входящих в Тянь-Шаньский фотометрический каталог. Штрих-пунктирной линией обозначено положение последовательности звезд Гиад. Заполненные кружки соответствуют 91 отобранной звезде. Звезды, лежащие ниже линии Гиад, а также звезды, имеющие peculiarную пространственную скорость более 60 км/с, показаны пустыми кружками. Они не включены в окончательный список “91M” в табл.3.

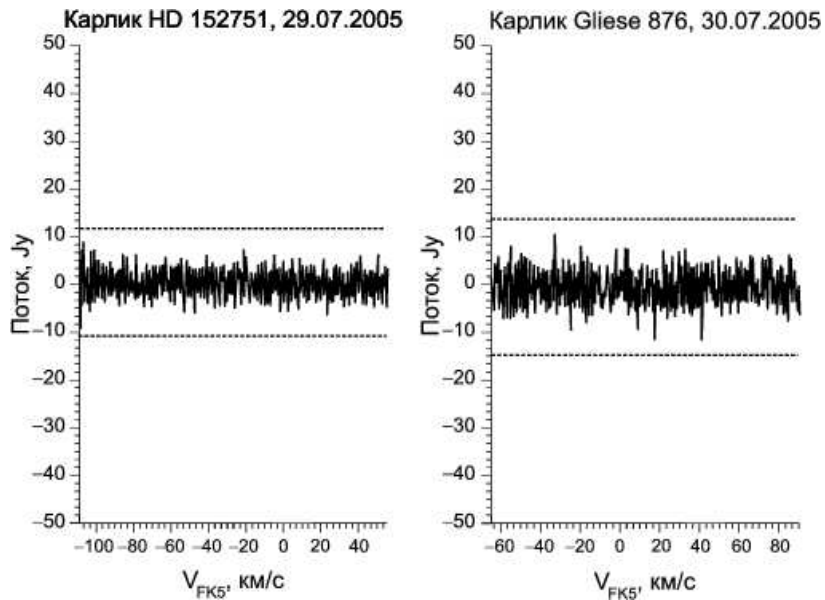


Рис. 6: Радиоспектры звезд HD 152751 ($GJ\ 644 = Wolf\ 630$) и Gl 876. В обоих случаях сигнал, превышающий $S_0 = 5\sigma$, не обнаружен.

Поиски признаков сфер Дайсона проводились неоднократно. В качестве критерия чаще всего рассматривался показатель цвета $[K]-[M_{12}]$, где $[K]$ — звездная величина в полосе K (2,2 мкм), а $[M_{12}]$

— звездная величина на длине волны 12 мкм.

В работах Югаку и др. (1995, 1997, 2002) были рассмотрены звезды из каталога, составленного Вулли и др. (1970), в интервале спектральных

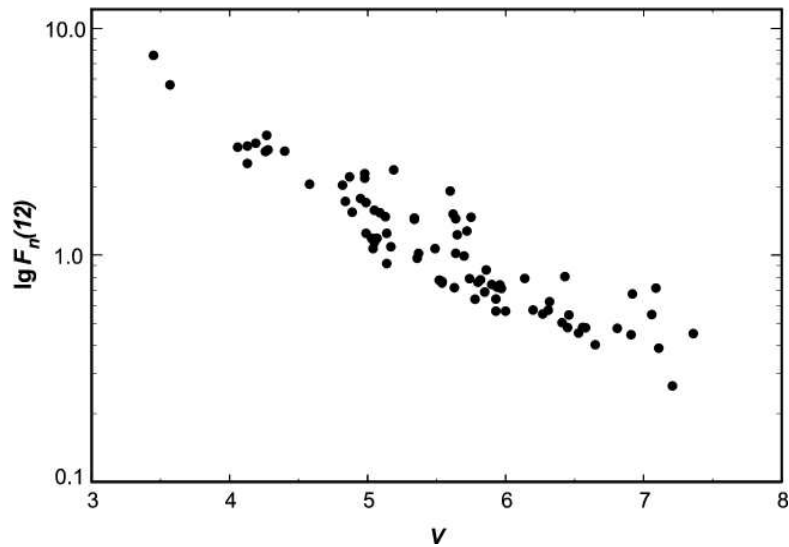


Рис. 7: Сопоставление величин V с инфракрасными потоками на волне 12 мкм для отобранных звезд списка “91M” (табл. 3).

классов F, G, K и классов светимости IV, V и VI, находящиеся на расстояниях менее 25 пк от Солнца. Величины $[M_{12}]$ определялись по данным IRAS, а величины $[K]$ выбирались из *Каталога инфракрасных наблюдений* Джезари и др. (1987) или оценивались на основе определений спектрального класса. В выборке из 365 звезд солнечного типа не было обнаружено признаков сфер Дайсона.

Похожую работу по поиску сфер Дайсона недавно провел Конрой (2004) из университета Беркли. Она не опубликована и кратко изложена в Интернете. Для выбора кандидатов Конрой использовал список из 1000 звезд в пределах 50 парсек от Солнца, составленный Райтом и др. (2004) и содержащий оценки хромосферной активности в линиях H и K CaII. По признаку низкой хромосферной активности были отобраны звезды с возрастом более 1 миллиарда лет. Величины в полосе K взяты из каталога 2MASS, а на 12 мкм — из каталога точечных источников IRAS. Конрой приводит гистограмму распределения звезд по величинам показателя цвета $[K]-[M_{12}]$ и неполную таблицу отобранных звезд. Гистограмма в целом имеет вид гауссовой кривой, но виден небольшой избыток звезд с показателем цвета $[K]-[M_{12}] \approx +0.6$. Такой показатель цвета может соответствовать компоненте излучения с чернотельным спектром и температурой $T \approx 300$ К.

Ожидаемые параметры сфер Дайсона приведены в табл.4. Данные наблюдений, по-видимому, исключают наличие моделей 1 и 2 среди ближайших звездных систем, но оставляют возможность существования этих моделей при условии частичного

использования оптического излучения звезд солнечного типа. Планетные системы красных карликов могут быть благоприятны для жизни и могут иметь возраст более 10 миллиардов лет. Им соответствуют астроинженерные конструкции с минимальным значением потока и углового размера. Данные наблюдений оставляют возможность существования сфер Дайсона у ближайших звезд для модели 3.

Кардашев и др. (1994), рассматривая данные каталога IRAS, обратили внимание на то, что 3000 ярчайших точечных объектов этого каталога, расположенных в направлении галактических полюсов, показывают бимодальное распределение по температуре с максимумами при 110–120 К и 280–290 К. Используя этот результат, Тимофеев и др. (2000) составили список из 38 объектов, которые имеют распределение энергии в спектре, близкое к чернотельному с максимумом излучения, соответствующим температуре 110–120 или 280–290 К.

Интересно отметить, что яркие источники IRAS 10216–5737, IRAS 13129–6211 и IRAS 19205+1358 не отождествлены с оптически звездами. Это не противоречит гипотезе о том, что они могут являться АК, которые полностью экранируют излучение звезды.

Для 83 звезд из списка “91M” имеются измерения потока на волне 12 мкм, полученные на спутнике IRAS. Сопоставление этих потоков с величинами V показывает, что нет явных указаний на существование избыточного излучения в инфракрасной области. Это иллюстрирует рис.7.

Только 21 звезда из списка “91M” входит в

HabCat. Столь малое перекрытие списков вызвано прежде всего тем, что для косвенных оценок возраста нами были использованы другие работы, опубликованные в самое последнее время.

Во второй статье Тэрнбулл и Тартер (2003b) приведен список 25-ти “приоритетных” звезд, входящих в HabCat. Выше мы обозначили этот список как “25P”. Все объекты этого списка являются солнцеподобными звездами. В частности, в их число вошли двойник Солнца 18 Sco и звезда 51 Peg, у которой впервые была обнаружена внесолнечная планета. Из числа этих “приоритетных” звезд 9 входят в наш список “91M”, а 12 — в наш первоначальный набор из 505-ти объектов. 9 объектов из списка “25P” не входят ни в CNS3, ни в Тянь-Шаньский каталог, и, следовательно, не являются общими со списком, из которого отбиралась наша 91 звезда. С учетом этого список “91M” и приоритетный список “25P” потенциально перекрываются более чем на 50%.

К сожалению, для того, чтобы более уверенно отобрать звезды-кандидаты для программы SETI, не хватает данных. Крайне скудны сведения о возрасте и химическом составе карликов поздних спектральных классов. До сих пор невозможно привести полную выборку звезд, удаленных менее чем на 25 пк (и даже на 7 пк!) от Солнца. По нашим оценкам, их наблюдающееся количество в 4 раза меньше. Решить эти проблемы можно только путем анализа существующих и проведения новых наземных и космических обзоров параллакс-ов, спектров, собственных движений и звездных величин слабых звезд.

Следует надеяться, что эксперимент GAIA, начало которого планируется на 2010–2012 годы, даст нам исчерпывающие сведения о наличии, расстояниях и физических параметрах ближайших звезд, и на этой основе будет возможно составить новые списки кандидатов для поиска высокотехнологических цивилизаций.

Список литературы

- IRAS, 1986, CDS II-125, *IRAS catalogs of Point Sources*, Version 2.0 . Joint IRAS Science W.G.
- 2MASS, 2003, CDS II/246 / *The 2MASS All-Sky Catalog of Point Sources*, Cutri R.M., Skrutskie M.F., Van Dyk S. et al. University of Massachusetts and Infrared Processing and Analysis Center
- NVSS, 1998, CDS VIII/65 / Condon J.J., Cotton W.D., Greisen E.W., Yin Q.F., Perley R.A., Taylor G.B., Broderick J.J. *The NRAO VLA Sky Survey*, Astron. J., 115, 1693
- CNS3, 1991, CDS V/70A, Gliese W., Jahreiss H. *Preliminary Version of the Third Catalogue of Nearby Stars*
- Вулли и др. (Woolley R., Epps E.A., Penston M.J., Rosock S.), 1970, Roy. Obs. Ann., v.5
- Гершберг Р.Е., Кацова М.М., Ловкая М.Н., Тербиж А.В., Шаховская Н.И., (1999), *Astrophys.J.Suppl.Ser.*, **139**, 555
- Гершберг Р.Е., 2002, Активность солнечного типа звезд главной последовательности. Монография. Одесса. Астропринт, 688 с.
- Джезари и др. (Gezari D.Y. Schmitz M., Mead J.M.), 1987, *Catalog of Infrared Observations*, 2nd ed., NASA Reference Publication 1196, National Aeronautics and Space Administration (Washington, DC)
- Ибукияма и Аримото (Ibukiyama A., Arimoto N.), 2002, *Astron. Astrophys.*, **394**, 927
- Кардашев и др. (Kardashev N.S., Likhachev S.F., Zhuravlev V.I.), 1994, *45th Congress of IAF*
- Конрой (Conroy C.), 2004, A Search of Dyson Spheres <http://setiathome.ssl.berkeley.edu/~cconroy/ds.html>
- Корнилов и др. (1991), Тянь-Шаньский фотометрический каталог, Труды ГАИШ, **63**, 1
- Ламберт и др. (Lambert D.L., Reddy B.E.), 2004, *Mon. Not. R. Astron. Soc.*, **349**, 757
- Марсаков и Шевелев (Marsakov V.A., Shevelev Yu.G.), 1995, *Bull. Inf. CDS*, **47**, 13
- Миронов А.В., Мошкалев В.Г., Харитонов А.В., 1998, *Астрон. Ж.*, **75**, 903
- Нордстрем и др. (Nordstrom B., Mayor M., Andersen J., Holmberg J., Pont F., Jorgensen B.R., Olsen E.H., Udry S., Mowlavi N.), 2004, *Astron. Astrophys.*, **419**, 989
- Райт и др. (Wright J.T. Marcy, G.W. Butler R.P., Vogt S.S.), 2004, *Astrophys.J.Suppl.Ser.*, **152**, 261
- Содерблом (Soderblom D.R.), 1985, *Astron. J.*, **90**, 2103
- Содерблом (Soderblom D.R.), 1986, *Icarus*, **67**, 184
- Стемпень (Stepien K.), 1989, *Acta Astron.*, **39**, 191
- Тэрнбулл и Тартер (Turnbull M.C., Tarter J.C.), 2003a, *Astrophys.J.Suppl.Ser.*, **145**, 181
- Тэрнбулл и Тартер (Turnbull, M.C., Tarter, J.C.), 2003b, *Astrophys.J.Suppl.Ser.*, **149**, 423
- Тимофеев и др. (Timofeev M.Yu., Kardashev N.S., Promyslov V.G.), 2000, *Acta Astronautica*, **46**, No 10-12, 655
- Турон (Turon C.), 1999, “Post-Hipparcos Cosmic Candles”, Heck, A. and Caputo < F. (eds), Kluwer Academic Publishers, p.1
- Фельтцинг и др. (Feltzing S., Holmberg J., Hurley J.R.), 2001, *Astron. Astrophys.*, **377**, 911
- Харитонов А.В., Глушнев И.Н., Князева Л.Н., 1994, *Astronomy Reports*, **38**, No 4, 583
- Чен и др. (Chen Y-Q., Zhao, G. Chinese J.), 2001, *Astron. Astrophys.*, **2**, 151
- Югаку и др. (Jugaku J., Noguchi K., Nishimura S.), 1995, in: “Progress in the Search for Extraterrestrial Life”, ed.: G.S. Shostak, ASP Conf. Ser., **74**, 381
- Югаку и др. (Jugaku J., Nishimura S.), 1997, in: “Astronomical and Biochemical Origins an the Search for Life in the Universe”, ed.: C.B.Cosmovici, S.Bowyer, D.Werthimer, Bologna: Editrice Compositori, p.707
- Югаку и др. (Jugaku J., Nishimura S.), 2000, in: “A New Era of Bioastronomy”, eds.: G.Lemarchand, K.Meech, ASP Conf. Ser., **213**, 581

Таблица 3: Звезды, отобранные нами в качестве кандидатов для SETI. Список "91M" (левый лист разворота)

| HD | Name (CNS3) | HIP | Sp (CNS3) | π (CNS3) | π (HIP) | M_V (CNS3) | Age | P_{rot} |
|--------|-------------|-------|-----------|--------------|-------------|--------------|------|-----------|
| (1) | (2) | (3) | (4) | (5) | (6) | (7) | (8) | (9) |
| 123 | Gl 4.1A | 518 | G5 V | 46.50 | 49.30 | 4.77 | 12.8 | - |
| 166 | Gl 5 | 544 | K0 V e | 70.20 | 72.98 | 5.37 | 13.8 | - |
| 3196 | Gl 23 A | 2762 | F6 V | 61.40 | 47.51 | 4.59 | 5.2 | - |
| 4614 | Gl 34 A | 3821 | G3 V | 168.40 | 167.99 | 4.58 | 11.2 | 17.00 |
| 4676 | Gl 34.1 | 3810 | F8 V | 55.00 | 41.80 | 3.77 | 2.8 | - |
| 4813 | Gl 37 | 3909 | F7 IV-V | 61.80 | 64.69 | 4.12 | 3.9 | - |
| 7439 | Gl 54. 2A | 5799 | F5 V | 56.80 | 41.01 | 3. 91 | 3.3 | - |
| 7924 | Gl 56.5 | 6379 | dK0 | 57.00 | 59.46 | 5.89 | - | 35.00 |
| 9407 | Gl 59.1 | 7339 | G6 V | 53.00 | 47.65 | 5.15 | - | 30.00 |
| 10307 | Gl 67 | 7918 | G1.5 V | 73.10 | 79.09 | 4.27 | 8.2 | - |
| 10700 | Gl 71 | 8102 | G8 Vp | 286.00 | 274.17 | 5.77 | - | 33.00 |
| 11131 | Wo 9061 B | 8486 | dGl | 40.00 | 43.47 | 4.78 | 12.4 | - |
| 13974 | Gl 92 | 10644 | G0 V e | 98.10 | 92.20 | 4.83 | 12.2 | 13.00 |
| 16673 | NN 3175 | 12444 | F8 V | 45.00 | 46.42 | 4.05 | 2.5 | - |
| 16895 | Gl 107 A | 12777 | F7 V | 79.30 | 89.03 | 3.63 | 3.5 | 10.00 |
| 20630 | Gl 137 | 15457 | G5 V e | 104.50 | 109.18 | 4.92 | 6,7 | - |
| 22484 | Gl 147 | 16852 | F8 V | 59.40 | 72.89 | 3.15 | 6.6 | 18.00 |
| 24496 | NN 3255 | 18267 | G5 | 47.00 | 48.36 | 5.17 | 17.2 | 29.00 |
| 25457 | Gl 159 | 18859 | F6 V | 55.20 | 52.00 | 4.08 | 4.3 | 2.00 |
| 25680 | Gl 160 | 19076 | G5 V | 57.50 | 59.79 | 4.70 | 6.5 | - |
| 25998 | Gl 161.1 | 19335 | F7 V | 43.00 | 46.87 | 3.69 | 4.1 | - |
| 32923 | Gl 188 A | 23835 | G4 V | 58.80 | 63.02 | 4.45 | 9.9 | 27.00 |
| 33564 | Gl 196 | 25110 | F6 V | 52.90 | 47.66 | 3.67 | 3.0 | - |
| 35296 | Gl 202 | 25278 | F8 V e | 65.20 | 68.19 | 4.06 | 6.4 | - |
| 38858 | GJ 1085 | 27435 | G2 V | 59.00 | 64.25 | 4.82 | 12.2 | 23.00 |
| 39587 | Gl 222 AB | 27913 | G0 V | 103.10 | 115.43 | 4 .47 | 7.1 | - |
| 40397 | NN 3376 AB | 28267 | G0 | 40.00 | 43.10 | 5.00 | - | 33.00 |
| 43386 | Wo 9207 | 29800 | F5 IV-V | 43.40 | 51.00 | 3.23 | 3.5 | - |
| 43587 | Gl 231. 1A | 29860 | F9 V | 61.00 | 51.76 | 4.63 | 8.2 | 20.00 |
| 50692 | Gl 252 | 33277 | G0 V | 59.00 | 57.89 | 4.59 | 9.5 | 15.00 |
| 58855 | Wo 9234 | 36439 | F6 V | 44.00 | 50.25 | 3.58 | 4.4 | - |
| 62613 | Gl 290 | 38784 | G8 V | 60.50 | 58.67 | 5.47 | - | 28.00 |
| 64096 | Gl 291 A | 38382 | F9 V | 62.70 | 59.98 | 4.71 | 9.3 | - |
| 68146 | Gl 297. 2A | 40035 | F7 V | 48.80 | 44.47 | 3.98 | 3.3 | - |
| 69897 | Gl 303 | 40843 | F6 V | 63.80 | 55.17 | 4.16 | 6.9 | 7.00 |
| 71148 | Gl 307.1 | 41484 | G5 V | 50.00 | 45.89 | 4.81 | 10.9 | 21.00 |
| 72905 | Gl 311 | 42438 | Gl V | 72.20 | 70.07 | 4.93 | 12.6 | 5.00 |
| 78366 | Gl 334.2 | 44897 | F9 V | 52.00 | 52.25 | 4.51 | 6.5 | - |
| 79028 | Gl 337.1 | 45333 | F9 V | 56.00 | 51.12 | 3.87 | 5.5 | - |
| 89125 | Gl 387 A | 50384 | F8 Vbw | 60.80 | 44 .01 | 4.74 | 7.0 | - |
| 89269 | NN 3593 | 50505 | G5 V | 46.00 | 48.45 | 4.96 | - | 24.00 |
| 90839 | Gl 395 | - | F8 V | 78.00 | 77.82 | 4.30 | 4.5 | 11.00 |
| 95128 | Gl 407 | 53721 | G0 V | 71.90 | 71 .04 | 4.33 | 10.2 | 23.00 |
| 97334 | Gl 417 | 54745 | G0 V | 44 .00 | 46.04 | 4.63 | 7.7 | - |
| 100180 | NN 3669 A | 56242 | G0 V | 41.00 | 43.42 | 4.26 | 8.1 | - |
| 101501 | Gl 434 | 56997 | G8 V e | 116.00 | 104.81 | 5.65 | - | 15.00 |

Таблица 3: Звезды, отобранные нами в качестве кандидатов для SETI. Список "91M" (левый лист разворота) (продолжение)

| HD | Name (CNS3) | HIP | Sp (CNS3) | π (CNS3) | π (HIP) | M_V (CNS3) | Age | P_{rot} |
|--------|-------------|--------|-----------|--------------|-------------|--------------|------|-----------|
| (1) | (2) | (3) | (4) | (5) | (6) | (7) | (8) | (9) |
| 108799 | Gl 469. 2A | 60994 | G0 V | 47.40 | 40.03 | 4.84 | 8.6 | - |
| 109358 | Gl 475 | 61317 | G0 V | 114.70 | 119.46 | 4.57 | 11.9 | - |
| 111395 | Gl 486.1 | 62523 | G7 V | 60.00 | 58.23 | 5.20 | 13.3 | 15.00 |
| 114378 | Gl 501 A | 64241 | F5 V | 51.70 | 69.81 | 3.55 | 2.8 | - |
| 114710 | Gl 502 | 64394 | G0 V | 119.80 | 109.23 | 4.65 | 5.8 | 12.00 |
| 116442 | NN 3781 A | 65352 | G5 V | 49.00 | 62.41 | 5.51 | - | 37.00 |
| 116443 | NN 3782 B | 65355 | G5 V | 49.00 | 59.56 | 5.81 | - | 42.00 |
| 117176 | Gl 512.1 | 65721 | G2.5 Va | 112.00 | 55.22 | 5.23 | 7.4 | 32.00 |
| 124292 | NN 3830 | 69414 | K1 | 51.00 | 44.89 | 5.57 | - | 34.00 |
| 126053 | Gl 547 | 70319 | Gl V | 57.90 | 56.82 | 5.08 | 14.4 | 23.00 |
| 126660 | Gl 549 A | 70497 | F7 V | 81.00 | 68.63 | 3.60 | 3.5 | - |
| 128642 | NN 3859 | 70857 | G5 | 54.00 | 51.04 | 5.57 | 10.0 | - |
| 130948 | Gl 564 | 72567 | G2 V | 69.70 | 55.73 | 5.07 | 10.5 | 6.00 |
| 132254 | NN 3880 | 73100 | F8 V | 41.00 | 40.25 | 3.69 | 2.8 | - |
| 133640 | Gl 575 A | 73695 | F9 V n | 85.10 | 78.39 | 4.84 | 15.4 | - |
| 137107 | Gl 584 A | 75312 | G2 V | 59.60 | 53.70 | 4.50 | 10.2 | - |
| 137763 | Gl 586 A | 75718 | K2 V | 61.80 | 50.34 | 5.87 | - | 39.00 |
| 140538 | Gl 596. 1A | 77034 | G5 V | 50.60 | 68.16 | 4.38 | - | 24.00 |
| 145958 | Gl 615. 1A | 79492 | G8 V | 51.80 | 41.05 | 5.93 | - | 36.00 |
| 146361 | Gl 615. 2A | 79607 | F8 V | 44.40 | 46.11 | 3.88 | 6.7 | - |
| 146233 | Gl 616 | 79672 | Gl V | 65.10 | 71.30 | 4.56 | 8.3 | 24.00 |
| 149661 | Gl 631 | 81300 | K0 V e | 95.10 | 102.27 | 5.64 | - | 20.00 |
| 153597 | Gl 648 | 82860 | F6 V | 59.00 | 66.28 | 3.74 | 5.0 | - |
| 154417 | Gl 654.1 | 83601 | F9 V | 51.00 | 49.06 | 4.54 | 4.3 | 8.00 |
| 159062 | NN 4010 | 85653 | G5 | 50.00 | 44.77 | 5.70 | - | 36.00 |
| 160269 | Gl 684 A | 86036 | G0 Va | 67.90 | 70.98 | 4.50 | 11.5 | - |
| 162003 | Gl 694. 1A | 86614 | F5 IV-V | 54.90 | 45.38 | 3.28 | 4.0 | - |
| 162004 | Gl 694. 1B | 86620 | F8 V | 54.90 | 44.80 | 4.49 | 5.7 | - |
| 165908 | Gl 704 A | 88745 | F7 V | 59.20 | 63.88 | 3.95 | 10.7 | 9.00 |
| 168151 | Gl 708.1 | 89348 | F5 V | 50.30 | 42.56 | 3.54 | 3.0 | - |
| 170153 | Gl 713 AB | 89937 | F7 V | 132.60 | 124.11 | 4.18 | 8.8 | - |
| 176051 | Gl 738 A | 93017 | F9 V | 56.50 | 66.76 | 4.10 | 10.0 | - |
| 185144 | Gl 764 | 96100 | K0 V | 178.20 | 173.41 | 5.93 | - | 34.00 |
| 186408 | Gl 765. 1A | 96895 | G2 V | 43.00 | 46.25 | 4.13 | 10.4 | 27.00 |
| 186427 | Gl 765. 1B | 96901 | G5 V | 43.00 | 46.70 | 4.37 | 9.9 | 29.00 |
| 187013 | Gl 767. 1A | 97295 | F5 IV-V | 44.40 | 47.94 | 3.23 | 2.7 | - |
| 190406 | Gl 779 | 98819 | Gl V | 60.20 | 56.60 | 4.70 | 8.8 | 15.00 |
| 193664 | Gl 788 | 100017 | G5 V | 72.90 | 56.92 | 5.24 | 7.9 | - |
| 195987 | Gl 793.1 | 101382 | G9 V | 51.10 | 44.99 | 5.63 | 5.8 | 39.00 |
| 197076 | Gl 797 A | 102040 | G5 V | 49.80 | 47.65 | 4.94 | 11.4 | 19.00 |
| 206860 | Gl 836.7 | 107350 | G0 V | 66.10 | 54.37 | 5.04 | 10.0 | - |
| 215648 | Gl 872 A | 112447 | F6 IV-V | 50.00 | 61.54 | 2.68 | 4.4 | 10.00 |
| 219623 | NN 4324 | 114924 | F7 V | 51.00 | 49.31 | 4.08 | 5.1 | - |
| 222143 | NN 4351 | 116613 | G5 | 48.00 | 43.26 | 4.99 | 5.8 | - |
| 222368 | Gl 904 | 116771 | F7 V | 72.50 | 72.51 | 3.43 | 4.4 | - |

Таблица 3: Звезды, отобранные нами в качестве кандидатов для SETI. Список "91M" (правый лист разворота)

| HD | V | $W - B$ | $B - V$ | $V - R$ | V_{pec} | Doubl | Sep'' | Sep (a.e.) | $F_{\nu 12}$ |
|--------|------|---------|---------|---------|-----------|------------------|---------|------------|--------------|
| (10) | (11) | (12) | (13) | (14) | (15) | (16) | (17) | (18) | (19) |
| 123 | 5.99 | 0.05 | 0.69 | 0.55 | 28.50 | ADS 00061AB | 1.40 | 28.40 | 0.81 |
| 166 | 6.09 | 0.15 | 0.76 | 0.59 | 29.17 | - | - | - | 0.79 |
| 3196 | 5.21 | -0.09 | 0.56 | 0.47 | 33.50 | ADS 00490 AB | 0.20 | 4.21 | 1.23 |
| 4614 | 3.44 | -0.15 | 0.59 | 0.51 | 35.30 | ADS 00671 AB | 11.00 | 65.48 | 7.61 |
| 4676 | 5.07 | -0.13 | 0.52 | 0.43 | 18.03 | IDS 00437+1624 A | 77.00 | 1842.11 | 1.19 |
| 4813 | 5.17 | -0.15 | 0.51 | 0.44 | 26.50 | - | - | - | 1.09 |
| 7439 | 5.15 | -0.17 | 0.44 | 0.40 | 32.95 | ADS 01003 A | 50.00 | 1219.21 | 0.92 |
| 7924 | 7.18 | 0.29 | 0.85 | 0.67 | 22.02 | - | - | - | 0.39 |
| 9407 | 6.53 | 0.04 | 0.70 | 0.55 | 48.41 | - | - | - | 0.45 |
| 10307 | 4.96 | -0.05 | 0.62 | 0.50 | 54.04 | - | - | - | 1.78 |
| 10700 | 3.50 | 0.02 | 0.73 | 0.60 | 35.74 | IDS 01394-1628 A | 90.00 | 328.26 | - |
| 11131 | 6.75 | -0.07 | 0.63 | 0.53 | 20.83 | IDS 01447-1111 B | 184.00 | 4232.80 | - |
| 13974 | 4.87 | -0.14 | 0.61 | 0.53 | 57.67 | ADS 01739 A | 65.00 | 704.99 | 2.22 |
| 16673 | 5.79 | -0.15 | 0.51 | 0.43 | 17.23 | - | - | - | 0.64 |
| 16895 | 4.11 | -0.15 | 0.50 | 0.42 | 32.00 | ADS 02081 A | 20.00 | 224.64 | 2.54 |
| 20630 | 4.84 | 0.02 | 0.67 | 0.54 | 22.72 | IDS 03141+0300 A | 270.00 | 2472.98 | 2.04 |
| 22484 | 4.29 | -0.09 | 0.57 | 0.47 | 50.69 | - | - | - | 2.92 |
| 24496 | 6.82 | 0.09 | 0.74 | 0.59 | 35.36 | - | - | - | 0.48 |
| 25457 | 5.38 | -0.14 | 0.51 | 0.43 | 30.61 | - | - | - | 1.02 |
| 25680 | 5.91 | -0.04 | 0.63 | 0.51 | 29.98 | IDS 03594+2144 A | 170.00 | 2843.28 | 0.74 |
| 25998 | 5.54 | -0.13 | 0.52 | 0.43 | 38.43 | - | - | - | 0.78 |
| 32923 | 4.93 | -0.03 | 0.65 | 0.53 | 48.11 | ADS 03701 AB | 0.10 | 1.59 | 1.92 |
| 33564 | 5.10 | -0.13 | 0.47 | 0.41 | 19.82 | ADS 1686 A | 11.00 | 230.80 | 1.14 |
| 35296 | 5.00 | -0.14 | 0.53 | 0.45 | 41.45 | IDS 05186+1716 A | 86.00 | 1261.18 | 1.71 |
| 38858 | 5.98 | -0.08 | 0.64 | 0.53 | 36.85 | - | - | - | 0.71 |
| 39587 | 4.40 | -0.11 | 0.60 | 0.49 | 16.91 | - | 0.60 | 5.20 | 2.88 |
| 40397 | 7.00 | 0.06 | 0.73 | 0.59 | - | ADS 04557 AB | 5.00 | 116.01 | - |
| 43386 | 5.04 | -0.17 | 0.43 | 0.37 | 23.62 | IDS 06108+1218 A | 24.00 | 470.59 | 1.07 |
| 43587 | 5.71 | -0.07 | 0.61 | 0.50 | 22.49 | IDS 06120+0508 A | 190.00 | 3670.79 | 0.99 |
| 50692 | 5.76 | -0.13 | 0.59 | 0.49 | 15.17 | - | - | - | 0.79 |
| 58855 | 5.37 | -0.20 | 0.46 | 0.40 | 31.06 | IDS 07233+4952 A | 91.00 | 1810.95 | 0.97 |
| 62613 | 6.56 | 0.07 | 0.73 | 0.57 | 39.13 | - | - | - | 0.48 |
| 64096 | 5.16 | -0.10 | 0.60 | 0.51 | 34.54 | ADS 06420 AB | 0.60 | 10.00 | 1.28 |
| 68146 | 5.53 | -0.15 | 0.48 | 0.42 | 41.59 | IDS 08059-1330 A | 93.00 | 2091.30 | 0.77 |
| 69897 | 5.13 | -0.18 | 0.47 | 0.42 | 43.94 | - | - | - | 1.25 |
| 71148 | 6.34 | -0.03 | 0.63 | 0.51 | 45.92 | - | - | - | 0.62 |
| 72905 | 5.65 | -0.10 | 0.62 | 0.51 | 14.14 | - | - | - | 1.02 |
| 78366 | 5.96 | -0.09 | 0.59 | 0.48 | 33.35 | - | - | - | 0.57 |
| 79028 | 5.20 | -0.05 | 0.60 | 0.50 | 15.03 | - | - | - | 1.48 |
| 89125 | 5.81 | -0.20 | 0.51 | 0.44 | 50.33 | ADS 07712 AB | 7.60 | 172.69 | 0.78 |
| 89269 | 6.67 | -0.03 | 0.68 | 0.54 | 33.17 | 110127+4433 A | 151.00 | 3116.62 | 0.40 |
| 90839 | 4.83 | -0.17 | 0.53 | 0.45 | 14.28 | - | - | - | 1.73 |
| 95128 | 5.04 | -0.06 | 0.62 | 0.51 | 24.2 | - | - | - | 1.58 |
| 97334 | 6.42 | -0.05 | 0.62 | 0.50 | 32.95 | IDS 11071+3621 A | 86.00 | 1867.94 | 0.50 |
| 100180 | 6.27 | -0.10 | 0.58 | 0.48 | 44.65 | ADS 08196 A | 15.00 | 345.46 | 0.57 |
| 101501 | 5.30 | 0.09 | 0.74 | 0.57 | 17.03 | IDS 11357+3446 A | 159.00 | 1517.03 | - |

Таблица 3: Звезды, отобранные нами в качестве кандидатов для SETI. Список "91M" (правый лист разворота) (продолжение)

| HD | V | W - B | B - V | V - R | V _{pec} | Doubl | Sep'' | Sep (a.e.) | F _v 12 |
|--------|------|-------|-------|-------|------------------|------------------|--------|------------|-------------------|
| (10) | (11) | (12) | (13) | (14) | (15) | (16) | (17) | (18) | (19) |
| 108799 | 6.38 | -0.12 | 0.59 | 0.52 | 25.02 | ADS 08573 AB | 1.50 | 37.47 | 0.55 |
| 109358 | 4.25 | -0.13 | 0.60 | 0.49 | 32.26 | - | - | - | 3.38 |
| 111395 | 6.29 | 0.08 | 0.71 | 0.56 | 29.82 | - | - | - | 0.57 |
| 114378 | 4.33 | -0.20 | 0.46 | 0.39 | 42.63 | ADS 08804 AB | 0.50 | 7.16 | 2.19 |
| 114710 | 4.24 | -0.10 | 0.58 | 0.47 | 47.59 | IDS 13072+2823 A | 91.00 | 833.10 | 2.87 |
| 116442 | 7.07 | 0.15 | 0.80 | 0.65 | 33.56 | ADS 08883 A | 26.50 | 424.61 | 0.55 |
| 116443 | 7.36 | 0.29 | 0.85 | 0.70 | - | ADS 08883 B | 25.50 | 428.14 | - |
| 117176 | 4.97 | 0.07 | 0.73 | 0.57 | 26.94 | IDS 13236+1419 A | 286.00 | 5179.28 | 2.29 |
| 124292 | 7.06 | 0.10 | 0.73 | 0.60 | - | - | - | - | - |
| 126053 | 6.27 | -0.11 | 0.64 | 0.53 | 46.77 | - | - | - | 0.55 |
| 126660 | 4.04 | -0.13 | 0.51 | 0.42 | 29.39 | IDS 14218+5219 A | 68.00 | 990.82 | 3.00 |
| 128642 | 6.89 | 0.12 | 0.77 | 0.61 | - | - | - | - | 0.45 |
| 130948 | 5.89 | -0.12 | 0.60 | 0.49 | 9.70 | - | - | - | 0.69 |
| 132254 | 5.64 | -0.11 | 0.52 | 0.43 | 33.53 | - | - | - | 0.72 |
| 133640 | 4.74 | -0.07 | 0.67 | 0.55 | 37.16 | ADS 09494 AB | 0.70 | 8.93 | 2.38 |
| 137107 | 5.00 | -0.12 | 0.57 | 0.46 | 20.47 | ADS 09617 AB | 0.50 | 9.31 | 1.52 |
| 137763 | 6.90 | 0.27 | 0.83 | 0.65 | 29.09 | IDS 15228-0900A | 52.00 | 1032.98 | 0.68 |
| 140538 | 5.87 | 0.02 | 0.69 | 0.55 | 24.60 | ADS 09763 AB | 4.00 | 58.69 | 0.86 |
| 145958 | 6.67 | 0.16 | 0.78 | 0.60 | 45.29 | ADS 09969 AB | 5.00 | 121.80 | 0.45 |
| 146361 | 5.18 | -0.12 | 0.57 | 0.50 | 32.71 | ADS 09979 AB | 6.00 | 130.12 | 1.45 |
| 146233 | 5.50 | -0.03 | 0.65 | 0.52 | 41.50 | IDS 16102-0806 A | 26.00 | 364.66 | 1.07 |
| 149661 | 5.77 | 0.30 | 0.84 | 0.65 | 30.15 | IDS 16310-0207 A | 99.00 | 968.03 | 1.47 |
| 153597 | 4.89 | -0.18 | 0.49 | 0.43 | 27.68 | - | - | - | 1.55 |
| 154417 | 6.02 | -0.13 | 0.59 | 0.47 | 34.73 | - | - | - | 0.57 |
| 159062 | 7.23 | 0.07 | 0.75 | 0.60 | - | - | - | - | 0.27 |
| 160269 | 5.23 | -0.08 | 0.61 | 0.53 | 42.49 | ADS 10660 AB | 0.60 | 8.45 | 1.44 |
| 162003 | 4.58 | -0.13 | 0.44 | 0.39 | 26.65 | ADS 10759 A | 30.00 | 661.08 | 2.06 |
| 162004 | 5.79 | -0.14 | 0.52 | 0.44 | 25.81 | ADS 10759 B | 30.00 | 669.64 | - |
| 165908 | 5.06 | -0.21 | 0.53 | 0.47 | 9.85 | ADS 11077 AB | 1.50 | 23.48 | 1.54 |
| 168151 | 5.00 | -0.20 | 0.44 | 0.39 | 48.36 | - | - | - | 1.19 |
| 170153 | 3.56 | -0.22 | 0.53 | 0.46 | 39.17 | IDS 18229+7241 A | 150.00 | 1208.61 | 5.65 |
| 176051 | 5.22 | -0.11 | 0.60 | 0.51 | 49.49 | ADS 11871 AB | 0.70 | 10.49 | 1.46 |
| 185144 | 4.68 | 0.17 | 0.81 | 0.64 | 55.90 | IDS 19325+6929 A | 315.00 | 1816.50 | - |
| 186408 | 5.99 | -0.00 | 0.66 | 0.52 | 36.37 | ADS 12815 A | 39.00 | 843.24 | 0.74 |
| 186427 | 6.24 | 0.01 | 0.67 | 0.53 | 36.37 | ADS 12815 B | 39.00 | 835.12 | - |
| 187013 | 5.01 | -0.14 | 0.46 | 0.41 | 47.51 | ADS 12913 A | 25.80 | 538.17 | 1.25 |
| 190406 | 5.80 | -0.07 | 0.61 | 0.48 | 45.19 | IDS 19596+1648 A | 60.00 | 1060.07 | 0.76 |
| 193664 | 5.93 | -0.13 | 0.60 | 0.50 | 35.71 | - | - | - | 0.64 |
| 195987 | 7.08 | 0.15 | 0.80 | 0.68 | 45.32 | - | - | - | 0.72 |
| 197076 | 6.44 | -0.08 | 0.63 | 0.51 | 48.59 | IDS 20362+1934 A | 94.00 | 1972.72 | 0.48 |
| 206860 | 5.98 | -0.13 | 0.59 | 0.49 | 25.16 | - | - | - | 0.72 |
| 215648 | 4.21 | -0.15 | 0.50 | 0.43 | 51.23 | ADS 16261 AB | 12.00 | 195.00 | 3.12 |
| 219623 | 5.59 | -0.13 | 0.55 | 0.45 | 34.32 | IDS 23121+5241 A | 130.00 | 2636.38 | 0.75 |
| 222143 | 6.59 | -0.02 | 0.65 | 0.52 | 33.72 | - | - | - | 0.48 |
| 222368 | 4.13 | -0.13 | 0.51 | 0.43 | 37.63 | IDS 23348+0505 A | 70.00 | 965.38 | 3.03 |

Таблица 4:

| Параметры модели: температура (K); светимость (L_{Sun}); радиус $R = (L/4\pi\sigma)^{1/2}T^{-2}$ угл. Диаметр $\Theta = 2R/D$ | | | | Спектральная плотность потока излучения $F_\nu = B_\nu \pi R^2 / D^2$ (Ян) | | | | |
|--|-------------|-------------------------|----------|---|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| $T(K)$ | L/L_{Sun} | $R(см)$ | Θ | 10 мкм | 100 мкм | 1 мм | 1 см | 10 см |
| Модель 1 (Сфера, излучающая изотропно как черное тело при температуре 300K и солнечной светимости с расстояния 7 пк) | | | | | | | | |
| 300 | 1 | $2,63 \cdot 10^{13}$ см | 0,5'' | 1500 | 300 | 3,7 | $3,8 \cdot 10^{-2}$ | $3,8 \cdot 10^{-4}$ |
| Модель 2 (Предположение о максимальном термодинамическом кпд и использовании криогенных технологий, расстояние 7 пк) | | | | | | | | |
| 3 | 1 | $2,63 \cdot 10^{17}$ см | 1,3° | 0 | 0 | $1,5 \cdot 10^{-2}$ | $3 \cdot 10^{-4}$ | 370 |
| Модель 3 (Для M-карликов минимальные светимости $L = L_{Sun}/4000$, поэтому R и Θ в $4000^{0,5} \approx 60$ раз меньше, а F_ν в 4000 раз меньше, чем для моделей 1 и 2, расстояние 7 пк.) | | | | | | | | |
| 300 | 1 | $4,38 \cdot 10^{11}$ см | 0,008'' | $3,75 \cdot 10^{-1}$ | $7,5 \cdot 10^{-2}$ | $9,2 \cdot 10^{-3}$ | $9,5 \cdot 10^{-7}$ | $9,5 \cdot 10^{-9}$ |
| 3 | 1 | $4,38 \cdot 10^{15}$ см | 1,3' | 0 | 0 | 37,5 | 7,5 | $9,3 \cdot 10^{-2}$ |