

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 Тэрнбулл 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)

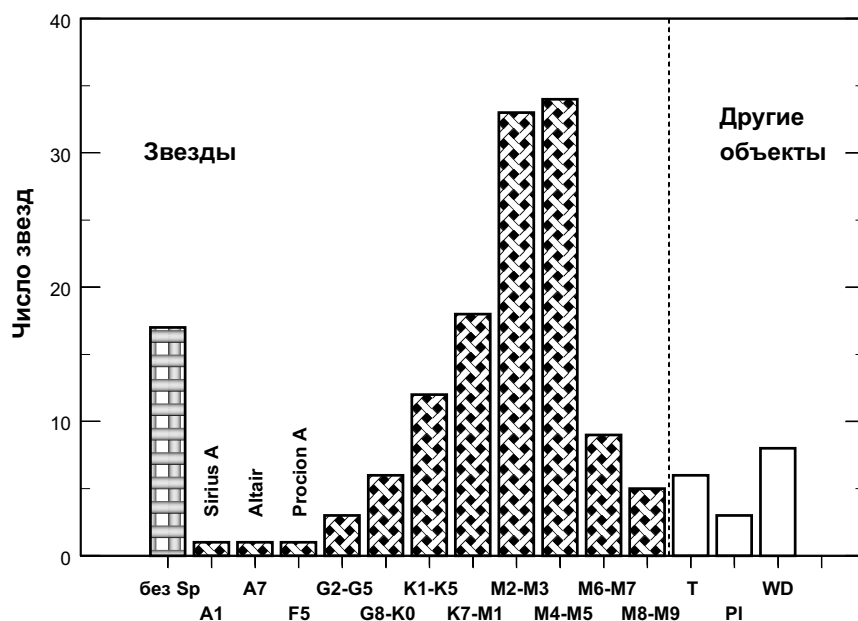


Рис. 1: Распределение объектов списка ближайших систем “100N” по спектральным классам.

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-A (A1V), Альтаир (A7V) и Процион-A (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 наиболее 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 Каталогу Глизе и Ярайса (CNS3, 1991). Во второй колонке указана принадлежность звезды к Каталогу HabCat Тэрнбулл и Тартер (2003а). Символ "yes" означает, что звезда входит в HabCat (таких звезд 19), "no" — что звезда была исключена по одному из критериев, принятых Тэрнбулл и Тартер (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 Каталога 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-

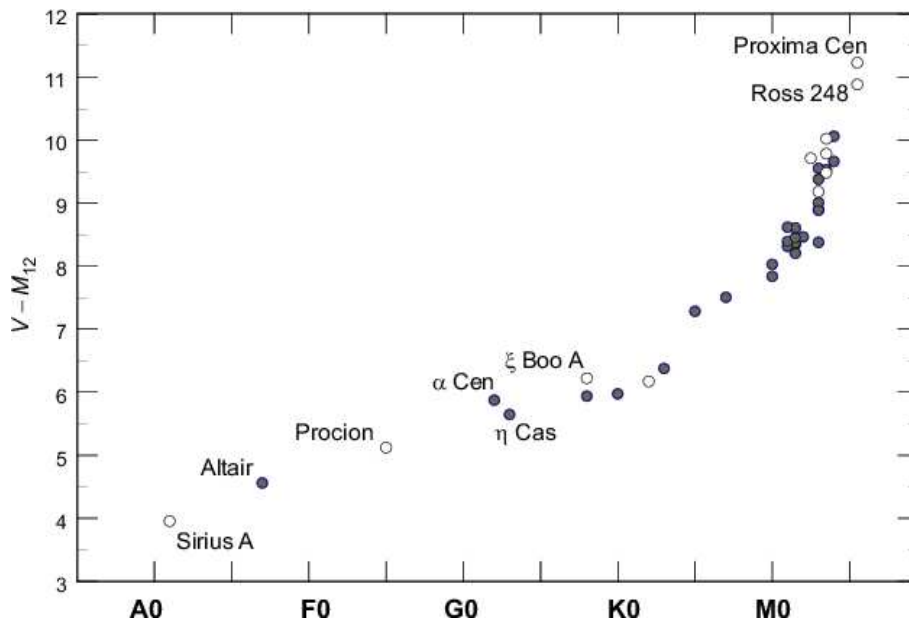


Рис. 2: Зависимость показателя цвета $V - M_{12}$ от спектрального класса для звезд списка “100N”. Заполненными кружками показаны звезды, оставленные в списке “56N”.

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 серьезные противоречия 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-парсековая 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;

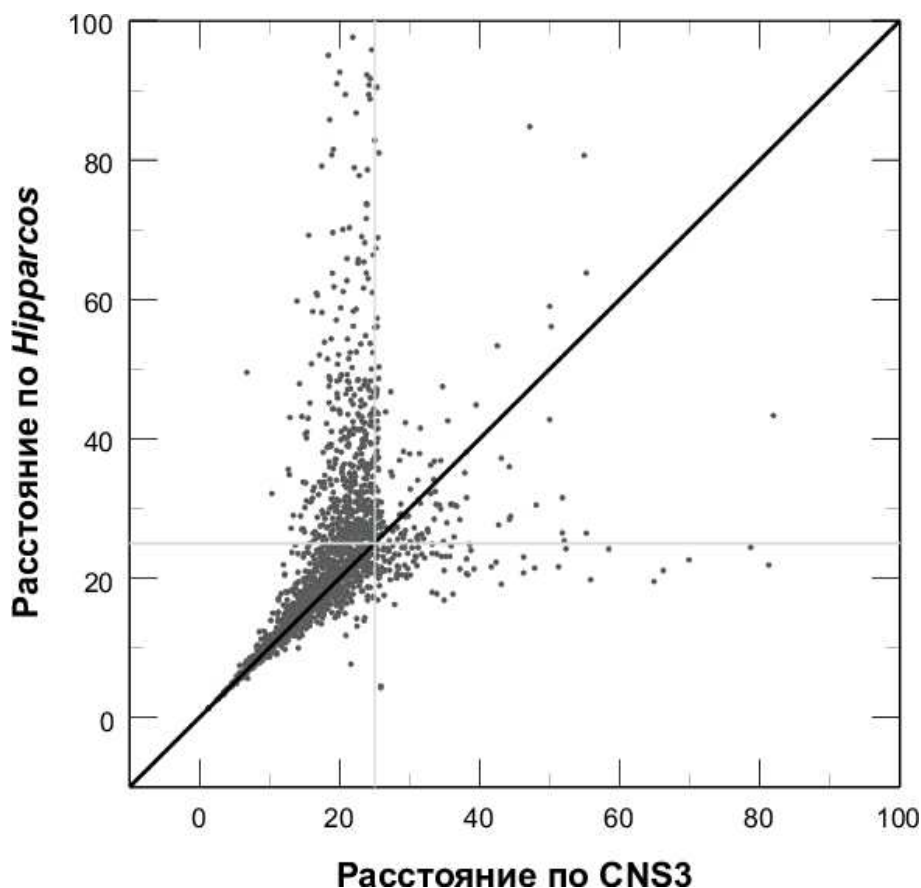


Рис. 3: Сравнение расстояний (в пк) ближайших звезд по данным *Hipparcos* (ордината) и *CNS3* (абсцисса).

- 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.

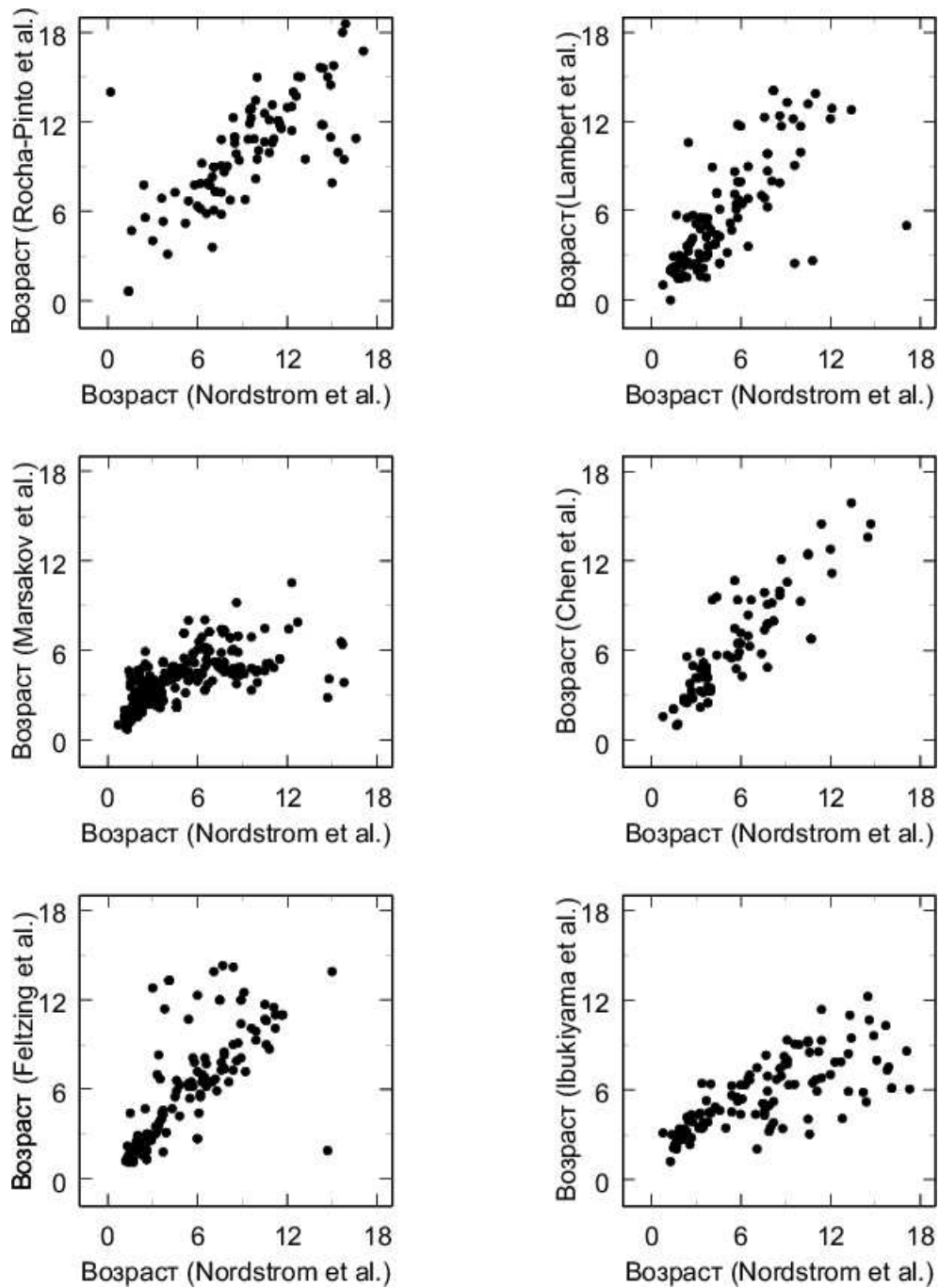


Рис. 4: Сравнение возрастов звезд по данным каталогов, перечисленных в таблице 3.

4. Обсуждение результатов

Мы сопоставили положение отобранных звезд на небесной сфере с положениями радиоисточников 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 радиоисточниками 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.

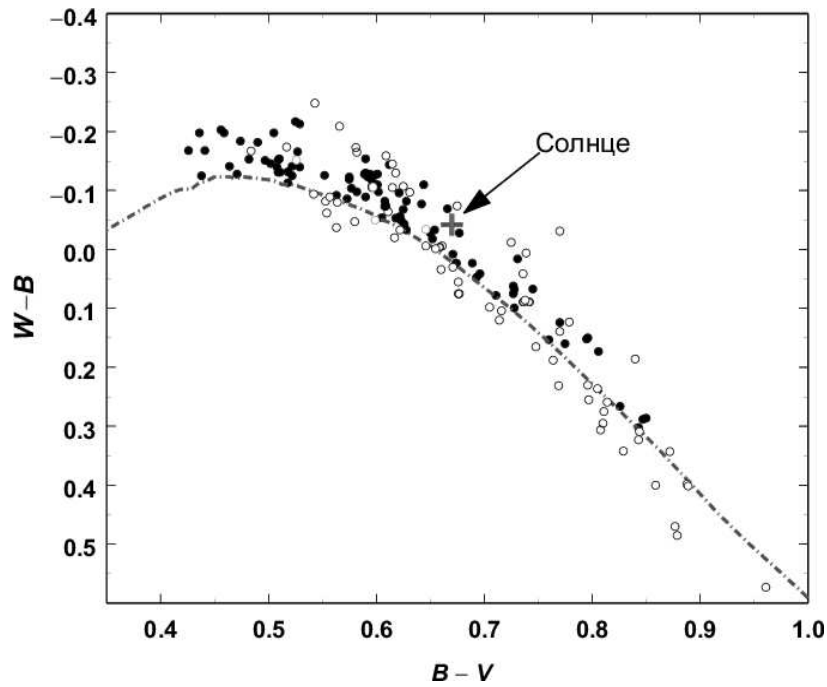


Рис. 5: Положение на диаграмме $W-B$, $B-V$ звезд – кандидатов для SETI, входящих в Тянь-Шаньский фотометрический каталог. Штрих-пунктирной линией обозначено положение последовательности звезд Гиад. Заполненные кружки соответствуют 91 отобранной звезде. Звезды, лежащие ниже линии Гиад, а также звезды,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

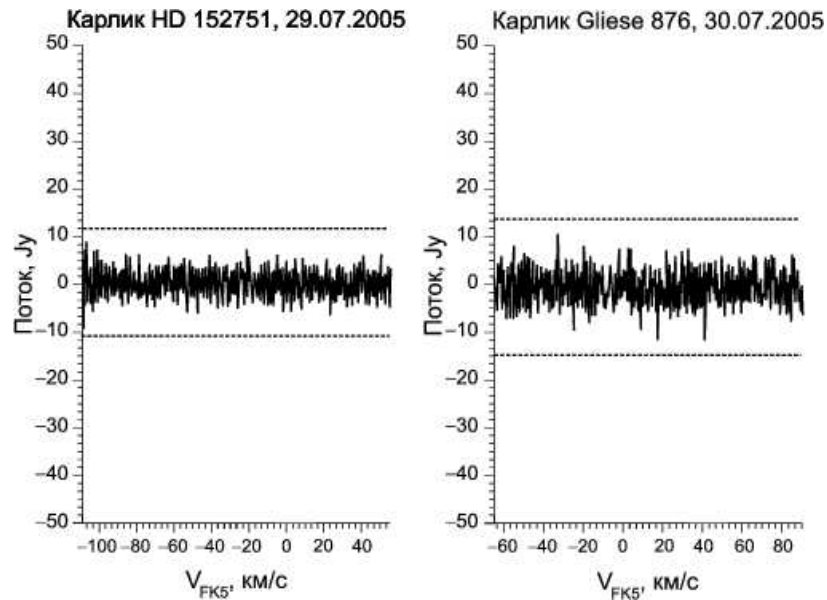


Рис. 6: Радиоспектры звезд HD 152751 ($GJ\ 644 = Wolf\ 630$) и Gl 876. В обоих случаях сигнал, превышающий $S_0 = 5\sigma$, не обнаружен.

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

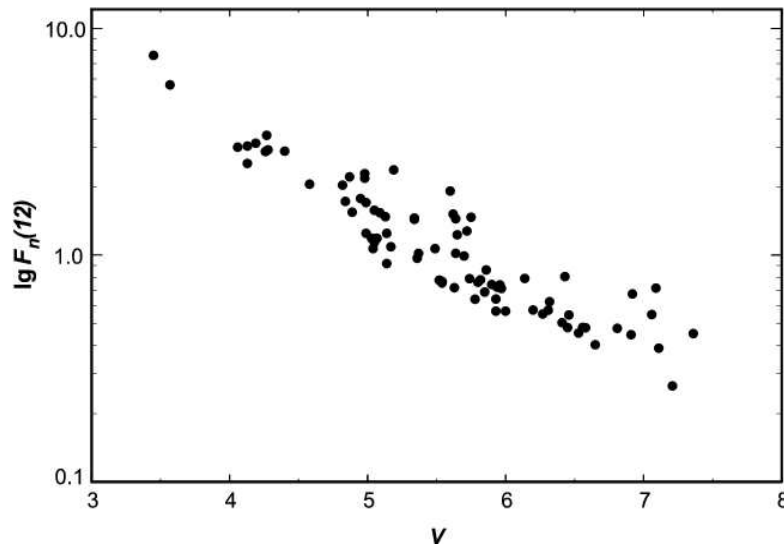


Рис. 7: Сопоставление величин V с инфракрасными потоками на волне 12 мкм для отобранных звезд списка “91M” (табл. 3).

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* Джексона 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., Теребиж 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	G1 469. 2A	60994	G0 V	47.40	40.03	4 .84	8.6	-
109358	G1 475	61317	G0 V	114.70	119.46	4.57	11.9	-
111395	G1 486.1	62523	G7 V	60.00	58.23	5.20	13.3	15.00
114378	G1 501 A	64241	F5 V	51.70	69.81	3.55	2.8	-
114710	G1 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	G1 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	G1 547	70319	G1 V	57.90	56.82	5.08	14.4	23.00
126660	G1 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	G1 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	G1 575 A	73695	F9 V n	85.10	78.39	4.84	15.4	-
137107	G1 584 A	75312	G2 V	59.60	53.70	4.50	10.2	-
137763	G1 586 A	75718	K2 V	61.80	50.34	5.87		39.00
140538	G1 596. 1A	77034	G5 V	50.60	68.16	4.38	-	24.00
145958	G1 615. 1A	79492	G8 V	51.80	41.05	5.93	-	36.00
146361	G1 615. 2A	79607	F8 V	44 .40	46.11	3.88	6.7	-
146233	G1 616	79672	G1 V	65.10	71.30	4.56	8.3	24.00
149661	G1 631	81300	K0 V e	95.10	102.27	5.64	-	20.00
153597	G1 648	82860	F6 V	59.00	66.28	3.74	5.0	-
154417	G1 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	G1 684 A	86036	G0 Va	67.90	70.98	4.50	11.5	-
162003	G1 694. 1A	86614	F5 IV-V	54.90	45.38	3.28	4 .0	-
162004	G1 694. 1B	86620	F8 V	54.90	44 .80	4 .49	5.7	-
165908	G1 704 A	88745	F7 V	59.20	63.88	3.95	10.7	9.00
168151	G1 708.1	89348	F5 V	50.30	42.56	3.54	3.0	-
170153	G1 713 AB	89937	F7 V	132.60	124.11	4.18	8.8	-
176051	G1 738 A	93017	F9 V	56.50	66.76	4.10	10.0	-
185144	G1 764	96100	K0 V	178.20	173.41	5.93	-	34.00
186408	G1 765. 1A	96895	G2 V	43.00	46.25	4.13	10.4	27.00
186427	G1 765. 1B	96901	G5 V	43.00	46.70	4.37	9.9	29.00
187013	G1 767. 1A	97295	F5 IV-V	44.40	47.94	3.23	2.7	-
190406	G1 779	98819	G1 V	60.20	56.60	4 .70	8.8	15.00
193664	G1 788	100017	G5 V	72.90	56.92	5.24	7.9	-
195987	G1 793.1	101382	G9 V	51.10	44.99	5.63	5.8	39.00
197076	G1 797 A	102040	G5 V	49.80	47.65	4.94	11.4	19.00
206860	G1 836.7	107350	G0 V	66.10	54.37	5.04	10.0	-
215648	G1 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	G1 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 _v 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	$1,3^\circ$	0	0	$1,5 \cdot 10^{-2}$	$3 \cdot 10^{-4}$	370
Модель 3 (Для М-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	$9,3 \cdot 10^{-2}$