



конференция

Горизонты астрономии и *SETI*  
*Нижний Архыз, 26-30 сентября 2005 года*



# 100 ЗВЕЗД и ВЦ где Они?

*Авторы доклада:*

**Н.С.Кардашев, М.Ю.Тимофеев (АКЦ ФИАН),  
Л.М.Гиндилис, А.И.Захаров, М.М.Кацова, К.В.Куимов, А.В.Миронов,  
А.С.Расторгуев, Г.М.Рудницкий, В.Г.Сурдин, А.М.Черепашук (ГАИШ),  
Л.Н.Филиппова (НКЦ SETI).**



Признаки наличия высокоразвитой  
технологической цивилизации.

**Наличие избытка излучения в  
интервале длин волны**

$$10 \text{ мкм} < \lambda < 10 \text{ мм},$$

**что соответствует веществу с**

$$T = 300 \text{ К и менее.}$$

**(Астроинженерная конструкция).**

*Данные об инфракрасных потоках можно найти в  
каталогах IRAS (1988) и 2MASS (2004).*

**Признаки наличия высокоразвитой  
технологической цивилизации.**

**Наличие радиоизлучения в  
метровом и сантиметровом  
диапазоне, существенно  
превышающего по мощности  
радиопоток от Солнца.**

**(Искусственные  
радиопередатчики)**

*Данные о радиоизлучении можно найти, например, в  
каталоге NVSS: 1,4 ГГц (21см).*

## Основные представления об астроинженерных конструкциях.

**Астроинженерные конструкции могут быть видны как источники чернотельного излучения с максимумом в диапазоне 10 мкм – 10 мм.**

**ВАЖНО!**

**Л. Содерблом (1986)**

**Для развития высокотехнологической цивилизации требуется не менее 3 миллиардов лет.**

## Поиск астроинженерных конструкций.

**Кардашев и др. (1994) :**

**3000 ярчайших точечных объектов каталога IRAS, расположенных в направлении галактических полюсов, показывают бимодальное распределение по температуре с максимумами при 110-120 К и 280-290 К**

## Поиск астроинженерных конструкций.

**Тимофеев и др. (2000):** На основе базы данных IRAS составлен список из 38 объектов, которые имеют распределение энергии в спектре близкое к чернотельному с максимумом излучения, соответствующим температуре 110-120 или 280-290 К.

## Поиск астроинженерных конструкций.

### **Яркие источники**

**IRAS 10216–5737**

**IRAS 13129–6211**

**IRAS 19205+1358**

**не отождествлены с оптическими звездами.**

**Они могут являться АК, которые полностью экранируют излучение звезды.**

## Списки кандидатов для поиска ВЦ. Поиск астроинженерных конструкций.

**Югаку и др. (1995, 1997, 2002)**

**Для выборки объемом 365 звезд солнечного типа  
рассмотрели звезды  
не было обнаружено признаков сфер Дайсона.  
спектральных классов F, G, K**

**и классов светимости IV, V и VI,**

**на расстояниях менее 25 пк от Солнца**

**Критерий : [K]–[12],**

**[K] — зв. величина в полосе K (2,2 мкм),**

**[12] — зв. величина на длине волны**

**12 мкм (IRAS),**

**Списки кандидатов для поиска ВЦ.  
Поиск астроинженерных конструкций.**

**Чарли Конрой (2004) :**

**Рассмотрел 1000 звезд до 50 парсек от Солнца с низкой хромосферной активностью H и K Call.**

**Возраст > 1 миллиарда лет.**

**Величины K — из каталога 2MASS,**

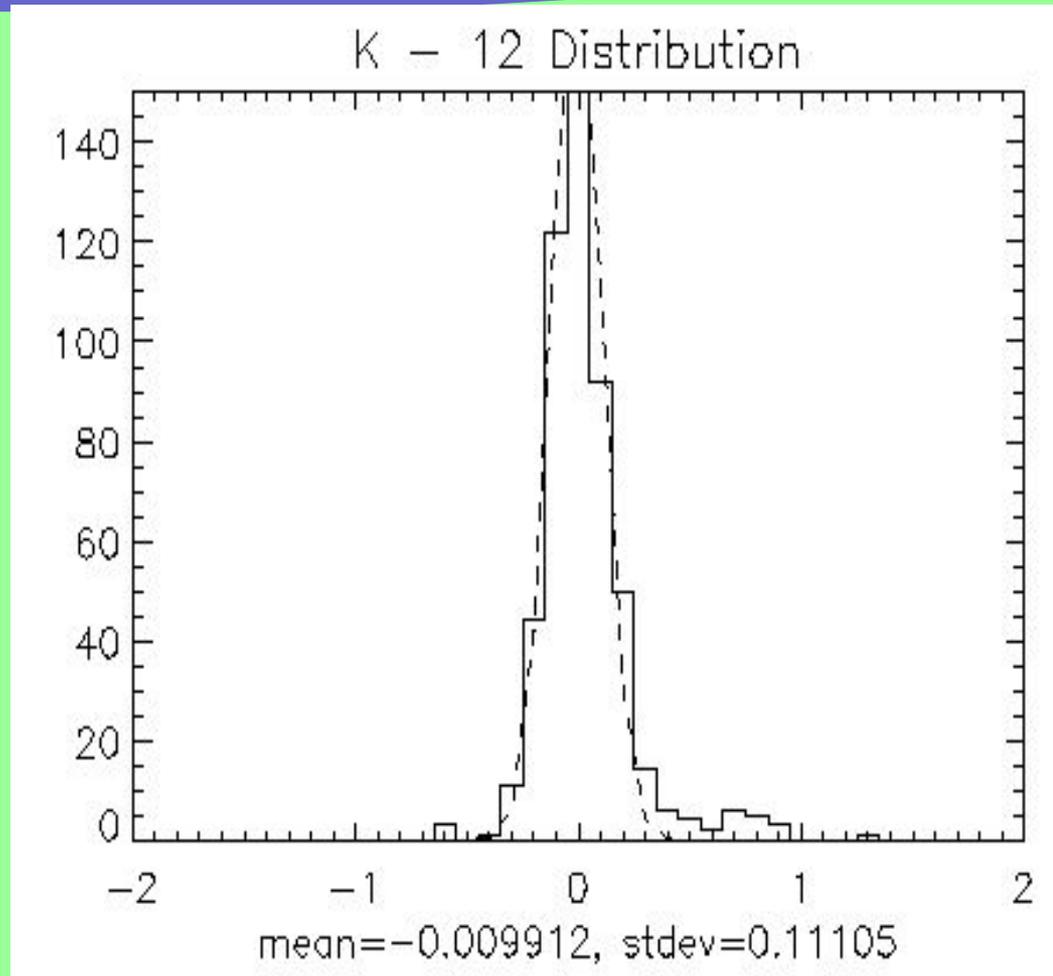
**[12] — из каталога точечных источников**

**IRAS.**

# Списки кандидатов для поиска ВЦ. Поиск астроинженерных конструкций.

## Ч. Конрой:

В распределении по показателю цвета [K]–[12] есть небольшой избыток звезд при  $[K] - [12] \approx +0,6$ . Это может соответствовать компоненте чернотельного излучения с  $T \approx 300$  К.



# Ожидаемые параметры астроинженерных конструкций с расстояния $D = 7$ пк.

Температура	Светимость	Радиус	Угловой диаметр	
$T_{AK}$ (К)	$L/L_{Sun}$	$R=(L/4\pi\sigma)^{1/2}T^{-2}$	$\Theta = 2R/D$	
<b>Модель 1</b> (Сфера, излучающая изотропно как черное тело при температуре 300К и солнечной светимости, с расстояния 7 пк).				
<b>300</b>	<b>1</b>	<b><math>2,63 \cdot 10^{13}</math> см</b>	<b>0,5''</b>	
<i>Спектральная плотность потока изл-я <math>F_v = B_v \pi R^2/D^2</math> (Ян)</i>				
<b>10 мкм</b>	<b>100 мкм</b>	<b>1 мм</b>	<b>1 см</b>	<b>10 см</b>
<b>1500</b>	<b>300</b>	<b>3,7</b>	<b><math>3,8 \cdot 10^{-2}</math></b>	<b><math>3,8 \cdot 10^{-4}</math></b>

# Ожидаемые параметры астроинженерных конструкций с расстояния $D = 7$ пк.

Температура	Светимость	Радиус	Угловой диаметр	
$T_{AK}$ (К)	$L/L_{Sun}$	$R=(L/4\pi\sigma)^{1/2}T^{-2}$	$\Theta = 2R/D$	
<b>Модель 2</b> (предположение о максимальном термодинамическом кпд и использовании криогенных технологий)				
<b>3</b>	<b>1</b>	<b><math>2,63 \cdot 10^{17}</math> см</b>	<b><math>1,3^\circ</math></b>	
<i>Спектральная плотность потока изл-я <math>F_v = B_v \pi R^2/D^2</math> (Ян)</i>				
<b>10 мкм</b>	<b>100 мкм</b>	<b>1 мм</b>	<b>1 см</b>	<b>10 см</b>
<b>0</b>	<b>0</b>	<b><math>1,5 \cdot 10^{-2}</math></b>	<b><math>3 \cdot 10^{-4}</math></b>	<b>370</b>

## Ожидаемые параметры астроинженерных конструкций с расстояния $D = 7$ пк.

**Данные наблюдений, по-видимому, исключают наличие моделей 1 и 2 среди ближайших звездных систем, но оставляют возможность существования для моделей с частичным использованием оптического излучения звезд солнечного типа.**

# Ожидаемые параметры астроинженерных конструкций с расстояния $D = 7$ пк.

Температура	Светимость	Радиус	Диаметр	
<b>Модель 3.</b> (Для М-карликов минимальные светимости $L=L_{\text{sun}}/4000$ , поэтому $R$ и $\Theta$ в $4000^{0,5} \approx 60$ раз меньше, а $F_v$ в 4000 раз меньше, чем для моделей 1 и 2.)				
1)	300	1	$4,38 \cdot 10^{11} \text{ см}$	0,008''
2)	3	1	$4,38 \cdot 10^{15} \text{ см}$	1,3'
<i>Спектральная плотность потока изл-я <math>F_v = B_v \pi R^2 / D^2</math> (Ян)</i>				
10 мкм	100 мкм	1 мм	1 см	10 см
$3,75 \cdot 10^{-1}$	$7,5 \cdot 10^{-2}$	$9,2 \cdot 10^{-3}$	$9,5 \cdot 10^{-7}$	$9,5 \cdot 10^{-9}$
0	0	37,5	7,5	$9,3 \cdot 10^{-2}$

## Ожидаемые параметры астроинженерных конструкций с расстояния $D = 7$ пк.

**Планетные системы красных карликов могут быть благоприятны для жизни и могут иметь возраст более 10 миллиардов лет. Им соответствуют АК с минимальным значением потока и углового размера. Данные наблюдений оставляют возможность существования для модели 3 для ближайших звездных систем.**

## Потребность в новых списках для SETI.

В настоящее время в северной части Калифорнии вводится в строй телескоп «1 гектар»:

350 списками выступили американские специалисты уровня «тарелок» на площади  $100 \times 100$  м.

Его современное название: *Allen Telescope Array (ATA)* исследовательницы Маргарет Турбулл и

Предполагается, что он будет в состоянии за один год

оценить поток радиоизлучения в интервале частот

0,5 – 11 ГГц более чем для 10 000 звезд.

**Встает задача создания новых списков звезд-кандидатов для поиска признаков высокотехнологичных цивилизаций.**

## Списки М.Тurnbull и J.Tarter.

- Turnbull, M.C., Tarter, J.C.  
Astrophys.J.Suppl.Ser. V.145. P.181.  
2003.
- Turnbull, M.C., Tarter, J.C.  
Astrophys.J.Suppl.Ser. V.149. P.423.  
2003.

# Порядок отбора кандидатов для 1-го списка Margaret Turnbull и Jill Tarter.



## 2-й список М.Турнбулл и J.Тартер.

2-й список основан на данных каталога *Тихо-2*, содержащего около 2,5 миллиона звезд.

Для звезд с надежными собственными движениями статистически оценена абсолютная величина

$$M = m - 5 + 5 \lg \mu.$$

Отброшены звезды ранних спектральных классов и гиганты;

**Осталось 256 610;**

Этот список Тэрнбулл и Тартер называют *Дополнительным списком объектов для SETI.*

## 3-й список M.Turnbull и J.Tarter.

Звезды каталога Hipparcos ограничены по звездной величине. T&T выдвинули в качестве кандидатов для SETI полный список звезд, входящих в

**100 ближайших звездных систем.**

В **100** ближайших системах содержится **157** объектов различных типов. Из них в HabCat входят только **28** объектов

# 157 объектов в составе 100 ближайших систем.

17 объектов не являются звездами главной последовательности.

6 коричневых карликов

8 белых карликов

3 три внесолнечные планеты-гиганты.

17 объектов, не имеют надежно установленного спектрального класса, по-видимому все они — карлики

класс M<sup>0</sup>

20 % — A0-K5.

80 % — K6-M9.

На долю этих 80 % красных звезд приходится более 50% массы и менее 0,5 % светимости.



## **Значение систем с красными карликами.**

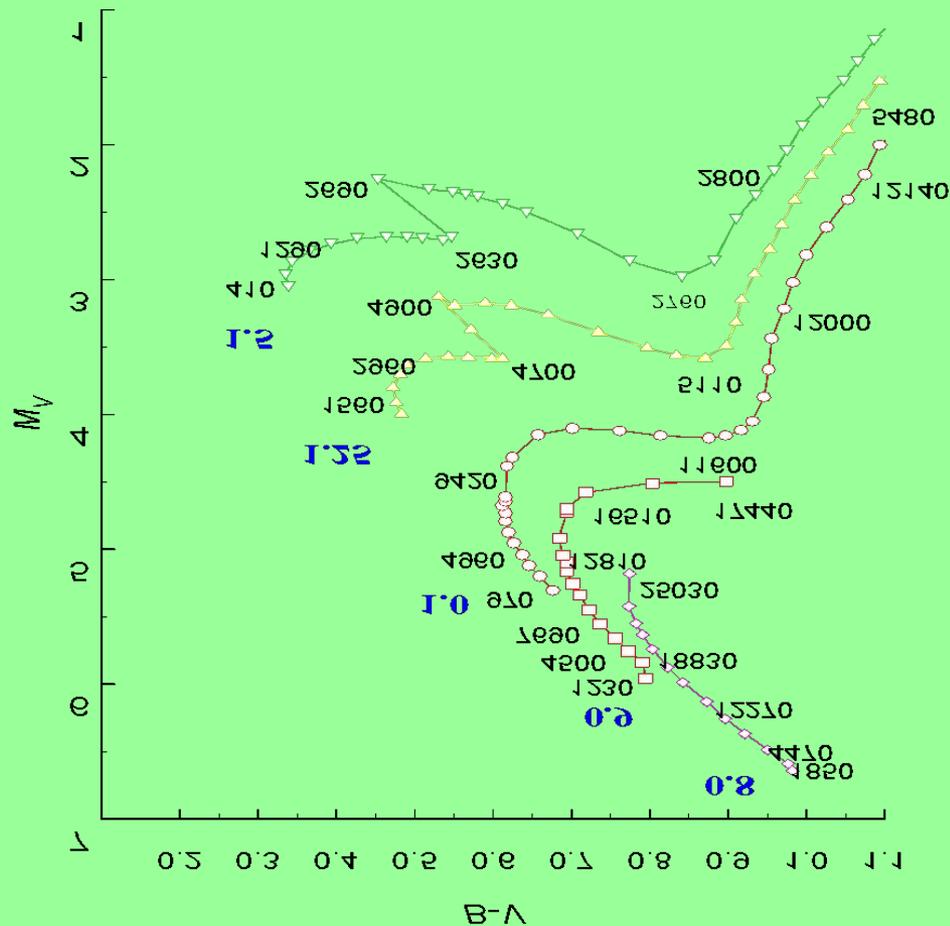
**Общее количество М-карликов весьма велико.**

**Возможностей для существования высоко-технологичных цивилизаций в системах звезд наиболее поздних спектральных классов гораздо меньше, чем в системах звезд G, так как ширина зоны обитания в системах поздних карликов мала и, следовательно, мала вероятность нахождения там землеподобной планеты. Однако большое число таких систем в некоторой степени компенсирует этот эффект.**

# Хороши ли ближайшие звезды как объекты для поиска технологических ВЦ ?

Нужно отобрать звезды с возрастом свыше 3 миллиардов лет.

Эволюционные треки карликов более поздних, чем F5, в течение первых 3 миллиардов лет эволюционируют вдоль главной последовательности, поэтому невозможно различить эффекты возраста и массы.



## Косвенные характеристики карликов большого возраста.

1. малая скорость осевого вращения;
  2. низкий уровень хромосферной активности :  
(отсутствие сильных эмиссий в линиях H и K CaII, в бальмеровских линиях водорода и других линиях);
  3. пониженная металличность;
  4. высокая популяционная скорость;
  5. низкий уровень коронального и рентгеновского излучения;
- и т.п.

**Эти критерии (кроме 1-го)**

**являются статистическими и не**

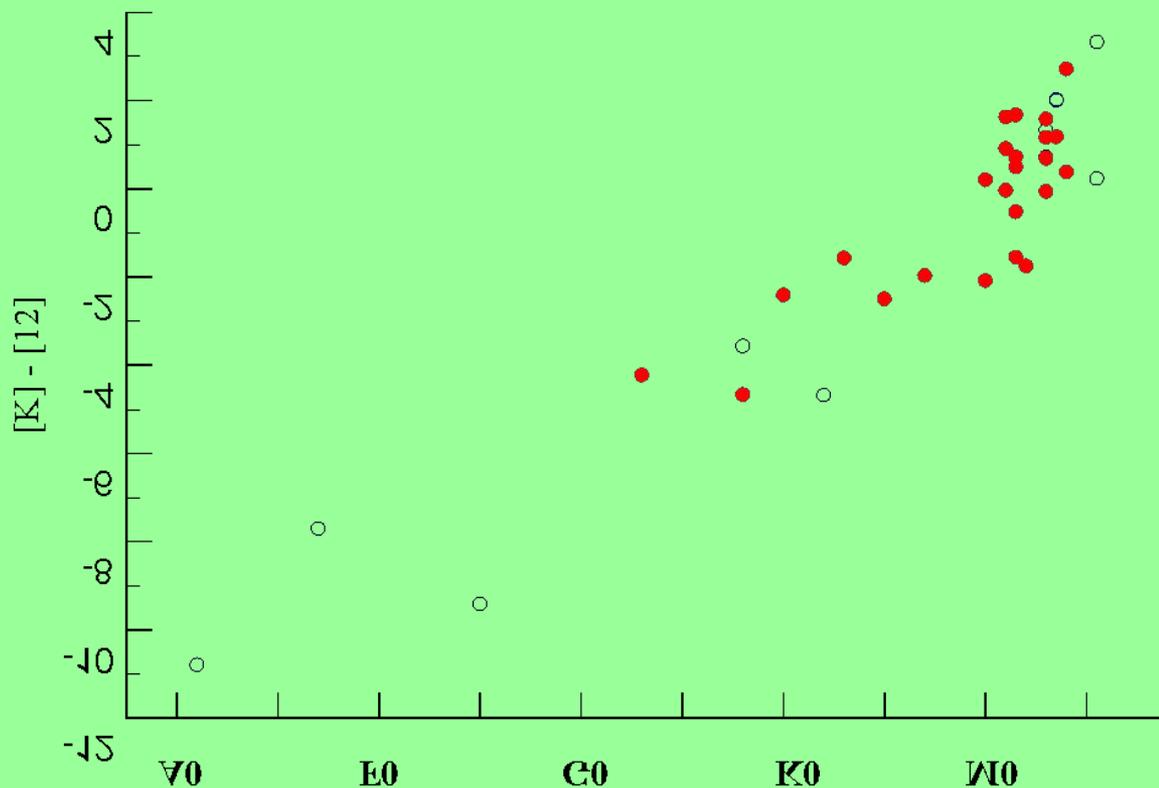
**могут однозначно**

**указывать на возраст конкретной**

**звезды.**



# Диаграмма [K] – [12] для 38 звезд из 100 ближайших систем.



**Красными точками отмечены 25 объектов, из числа оставленных нами в списке 58 звезд**

**Явных указаний на существование ИК избытков нет**

**В число 58 входят 19 объектов HabCat.**

**В списке 100 ближайших систем содержатся ещё 8 звезд, которые входят в HabCat, но не попали в число 58-ми.**

**Звезды GJ 674, GJ 205, GJ 338A и GJ 338B, согласно Каталогу Гершберга и др., имеют поверхностный рентгеновский поток,  $FX > 5,2$ ;**

**Для звезд LP 816-0606, GJ 555, GJ 581 и GJ 829A нет оценок параметров хромосферной активности.**

## Радиоизлучение на волне 21 см.

По данным каталога  
**Все три звезды обладают сильной эмиссией**  
**1,4 GHz NRAO VLA Sky Survey (NVSS)**  
**и большой рентгеновской светимостью**  
координаты трех звезд из списка 100 ближайших  
**(они исключены из числа 58-ми).**  
совпадают с координатами радиоисточников NVSS.

Gliese	HIP	S(mJ)	$W_{H\alpha}$ (Å)	$L_X$	$F_X$
GI 644A	82817AB	10,2 ±0,5	1,90	29,04	6,96
GI 285	37766	15,0 ±0,6	6,30	28,65	6,78
GI 896A	116132= EQ Peg	7,5 ±0,5	7,70	28,60	6,66

## **Звезды-кандидаты, предлагаемые авторами доклада.**

**Нами сделана попытка составить новый список кандидатов для поиска высокотехнологичных ВЦ. Причиной, побудившей сделать это, было появление новых работ, которые не были учтены Т&Т. (Еще один список Т&Т мы обсудим позднее)**

## Список, предлагаемый авторами доклада.

Нами сделана попытка составить новый список кандидатов для поиска высокотехнологичных ВЦ. Причиной, побудившей сделать это, было появление новых работ, которые не были учтены Т&Т.

### **Женева-Копенгагенский обзор**

Catal Geneva Copenhagen of V of the Solar system and related objects, metallicities, and kinematic properties of ~14000 F and G dwarfs  
Frishberg R.E., Katsova M.M., Lovkaya M.N., Terebizh A.V., Nordström B., Mayor M., Andersen J., Holmberg J., Pont F., Jorgensen B. *Astron. Astrophys. Ser. S. 39, 555 (1999)*  
<Astron. Astrophys. 419, 989 (2004)>

## Основа для отбора кандидатов.

За основу был принят общеизвестный каталог Глизе и Ярайса CNS3.

**V/70A**

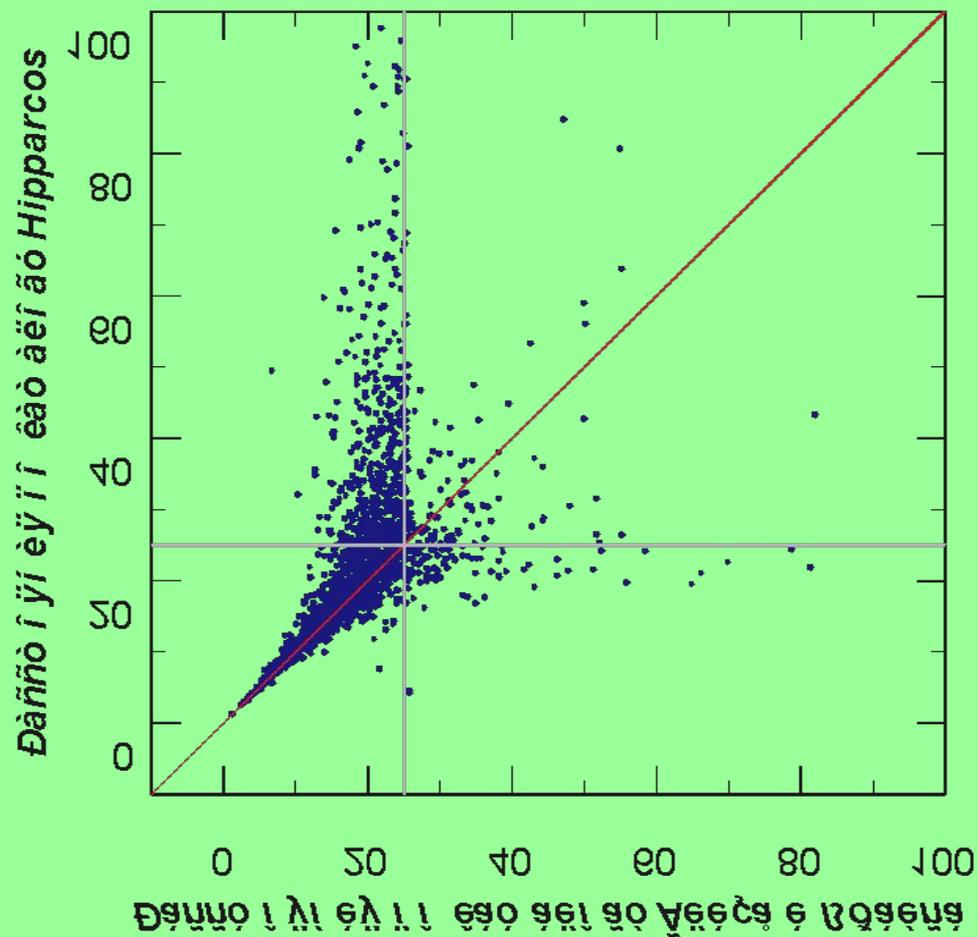
***Preliminary Version of the Third Catalogue of  
Nearby Stars***

**GLIESE W., JAHREISS H.**

**<Astron. Rechen-Institut, Heidelberg (1991)>**

**В каталоге CNS3 содержится 3802 объекта.**

# Лирическое отступление: параллаксы Гиппаркос и параллаксы в каталоге CNS.



## Отбор наших кандидатов. 1-й этап.

**Отобраны только те  
звезды, для которых параллакс  
 $\pi > 0,040$   
одновременно и в Hipparcos и в CNS3**

## Отбор наших кандидатов. 2-й этап.

### Отброшены :

- **звезды, для которых спектральные классы раньше F5;**
- **звезды, для которых определён класс светимости II, III или III-IV;**
- **белые карлики;**
- **коричневые карлики.**

## Отбор наших кандидатов. 3-й этап.

### Отброшены :

- звезды с плохо определёнными спектральными классами, если эти спектральные классы противоречат оценке абсолютной звездной величины;
- звезды с противоречиями между спектральным классом и показателем цвета  $B_T - V_T$  (Tycho)

Отбор наших кандидатов. 4-й этап.  
Привлечение данных о возрасте.

I.

**The Geneva-Copenhagen survey of the  
Solar neighbourhood. Ages, metallicities,  
and kinematic properties of ~ 14000  
F and G dwarfs.**

*Nordstrom B., Mayor M., Andersen J., Holmberg J.,  
Pont F., Jorgensen B.R., Olsen E.H., Udry S.,  
Mowlavi N.*

**<Astron. Astrophys. 419, 989 (2004)>**

**648 объектов**

Отбор наших кандидатов. 4-й этап.  
Привлечение данных о возрасте.

## II.

**Catalogue of ages, metallicities, orbital  
elements and other parameters for nearby  
F stars.**

*Marsakov V.A., Shevelev Yu.G.*

<Bull. Inf. CDS 47, 13 (1995)>

**259 объектов**

Отбор наших кандидатов. 4-й этап.  
Привлечение данных о возрасте.

**III.**

**Lithium abundances of the local thin  
disc stars.**

*Lambert D.L., Reddy B.E.*

<Mon. Not. R. Astron. Soc., 349, 757-767 (2004)>

**128 объектов**

Отбор наших кандидатов. 4-й этап.  
Привлечение данных о возрасте.

## IV.

**The solar neighbourhood age-metallicity  
relation. Does it exist?**

*Feltzing S., Holmberg J., Hurley J.R.*

<Astron. Astrophys. 377, 911 (2001)>

**158 объектов**

Отбор наших кандидатов. 4-й этап.  
Привлечение данных о возрасте.

V.

**HIPPARCOS age-metallicity relation  
of the solar neighbourhood disc  
stars.**

*Ibukiyama A., Arimoto N.*

<Astron. Astrophys. 394, 927 (2002)>

**147 объектов**

Отбор наших кандидатов. 4-й этап.  
Привлечение данных о возрасте.

**VI.**

**Lithium abundances for 185  
main-sequence stars.**

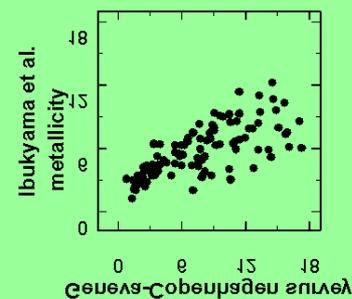
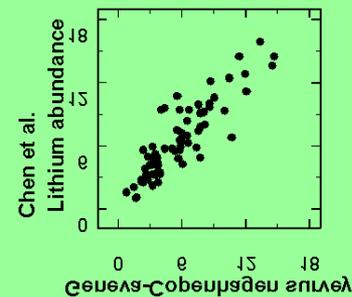
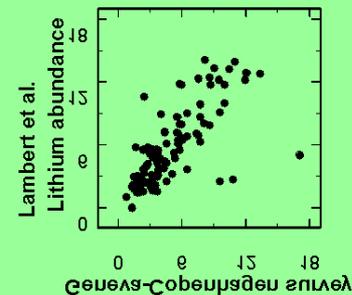
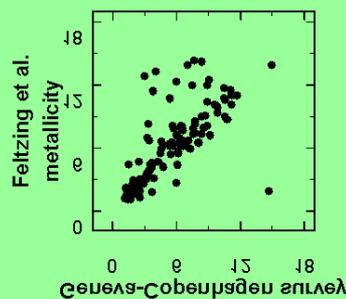
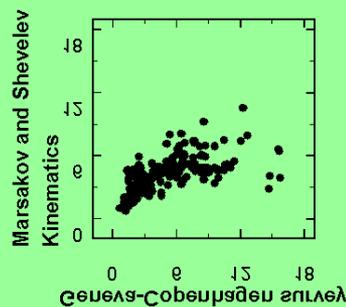
*Chen, Y.Q., Nissen, P.E. Benoni, T., Zhao G.*

**<Astron. Astrophys. 371, 943 (2001)>**

**89 объектов**

# Сравнение возрастов по данным разных каталогов.

Несмотря на то, что индивидуальные оценки возрастов имеют очень большую неопределённость, данные разных каталогов коррелируют друг с другом. Если возраст менее 3 млрд лет, то это подтверждается почти всеми каталогами одновременно.



Отбор наших кандидатов. 4-й этап.  
Привлечение данных об осевом вращении.

## **VII.**

**Компилятивный каталог данных  
о периодах вращения звезд.**

*Кацова М.М. (частное сообщение)*

**278 объектов**

## Отбор наших кандидатов. 4-й этап.

**Были отобраны только те звезды,  
о которых было известно:**

**либо, что во всех привлеченных каталогах их возраст  
не менее, чем 2,5 миллиарда лет,**

**либо, что периоды их осевого вращения более чем 19  
суток.**

**(Звезды без сведений о возрасте или скорости вращения были  
удалены)**

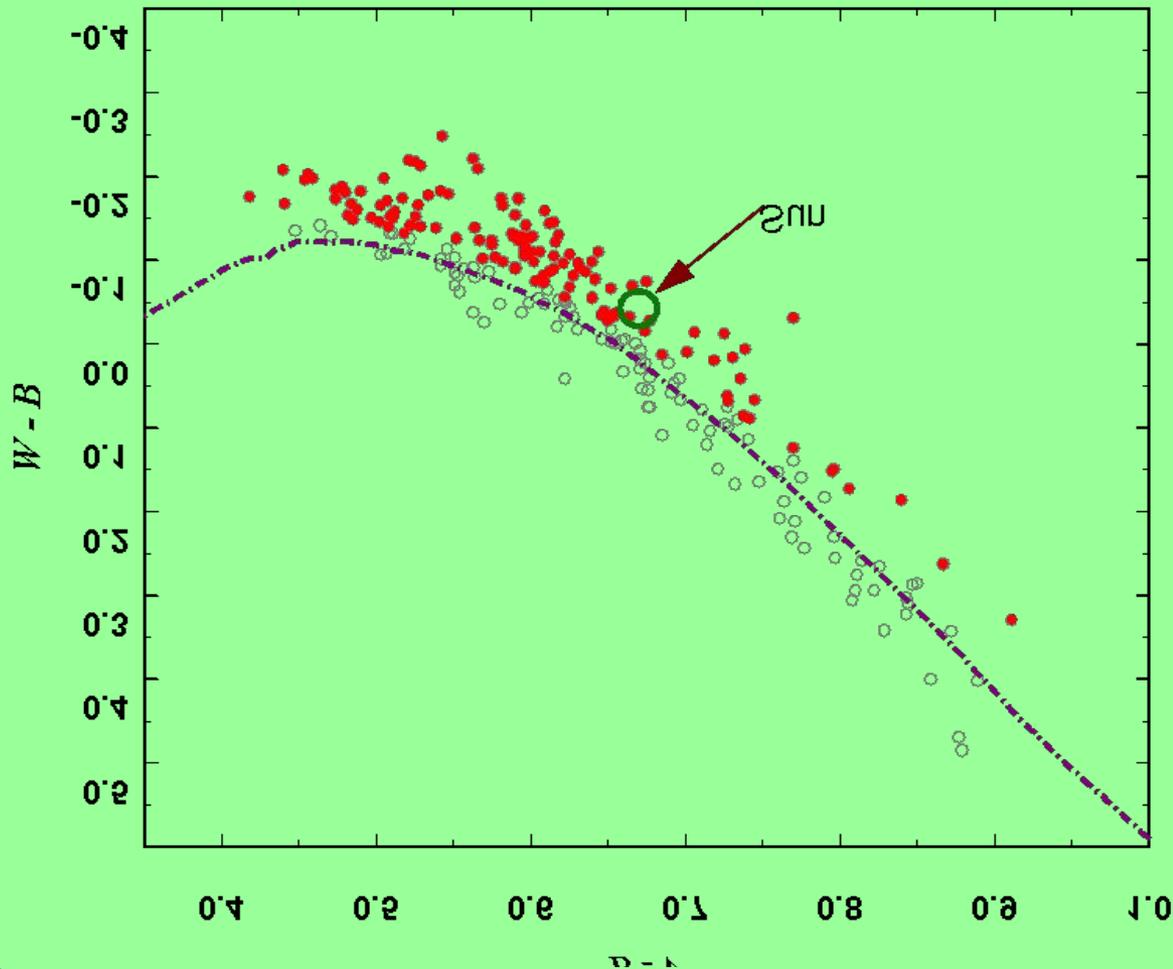
**После 4-го этапа осталось 760 звезд**

**В их числе 132 М-карлика**

## Отбор наших кандидатов. Последний этап.

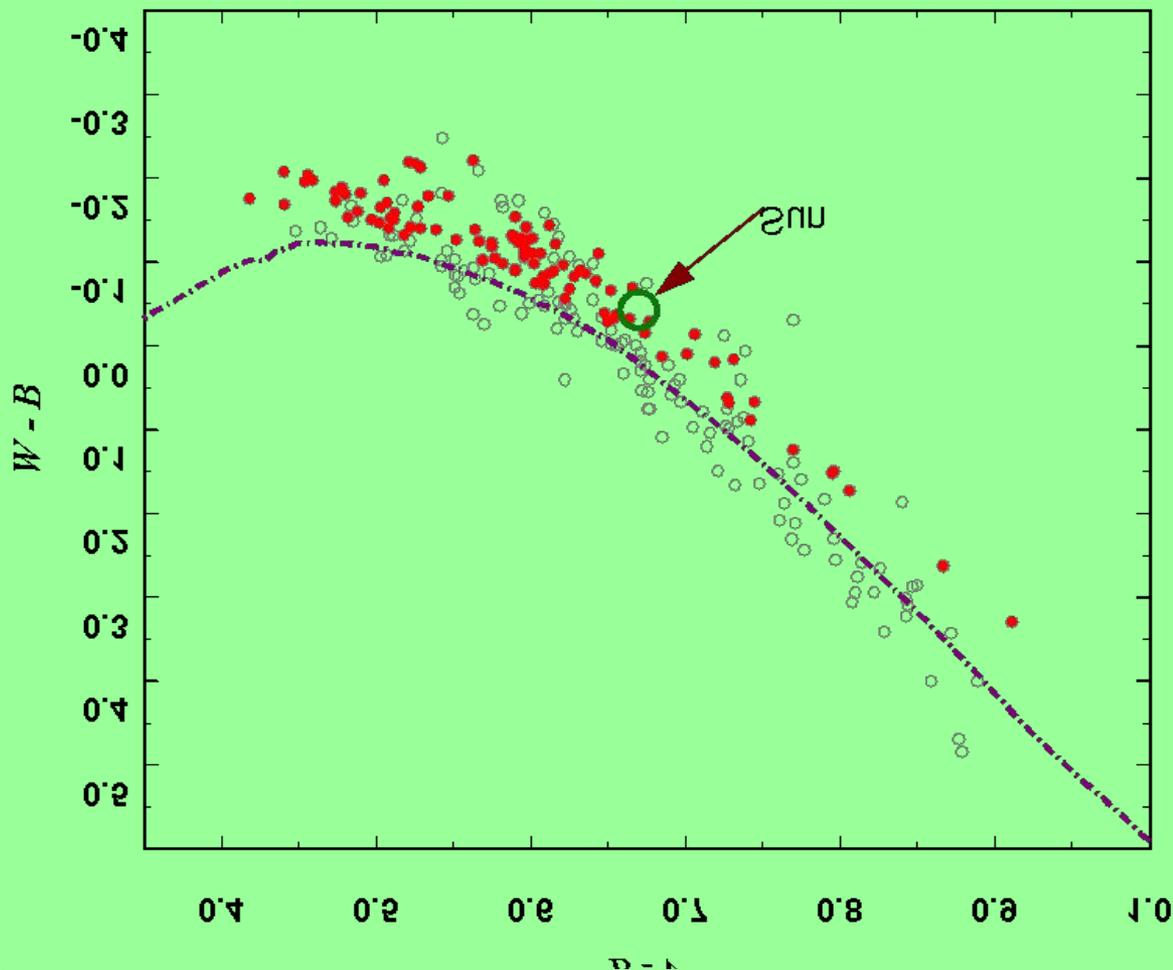
Из числа 760 были отобраны звезды, для которых имеются  $W$ ,  $B$ ,  $V$  и  $R$  величины в Тянь-Шаньском фотометрическом каталоге. Таких звезд **129**. На основе этих данных была построена двухцветная диаграмма  $W - B$ ,  $B - V$ .

# Отбор наших кандидатов. Последний этап. Двухцветная диаграмма.



Более молодые и более металличные звезды в окрестности Солнца лежат на последовательности Гиад, возраст которых около 600 миллионов лет, а металличность почти вдвое больше солнечной.

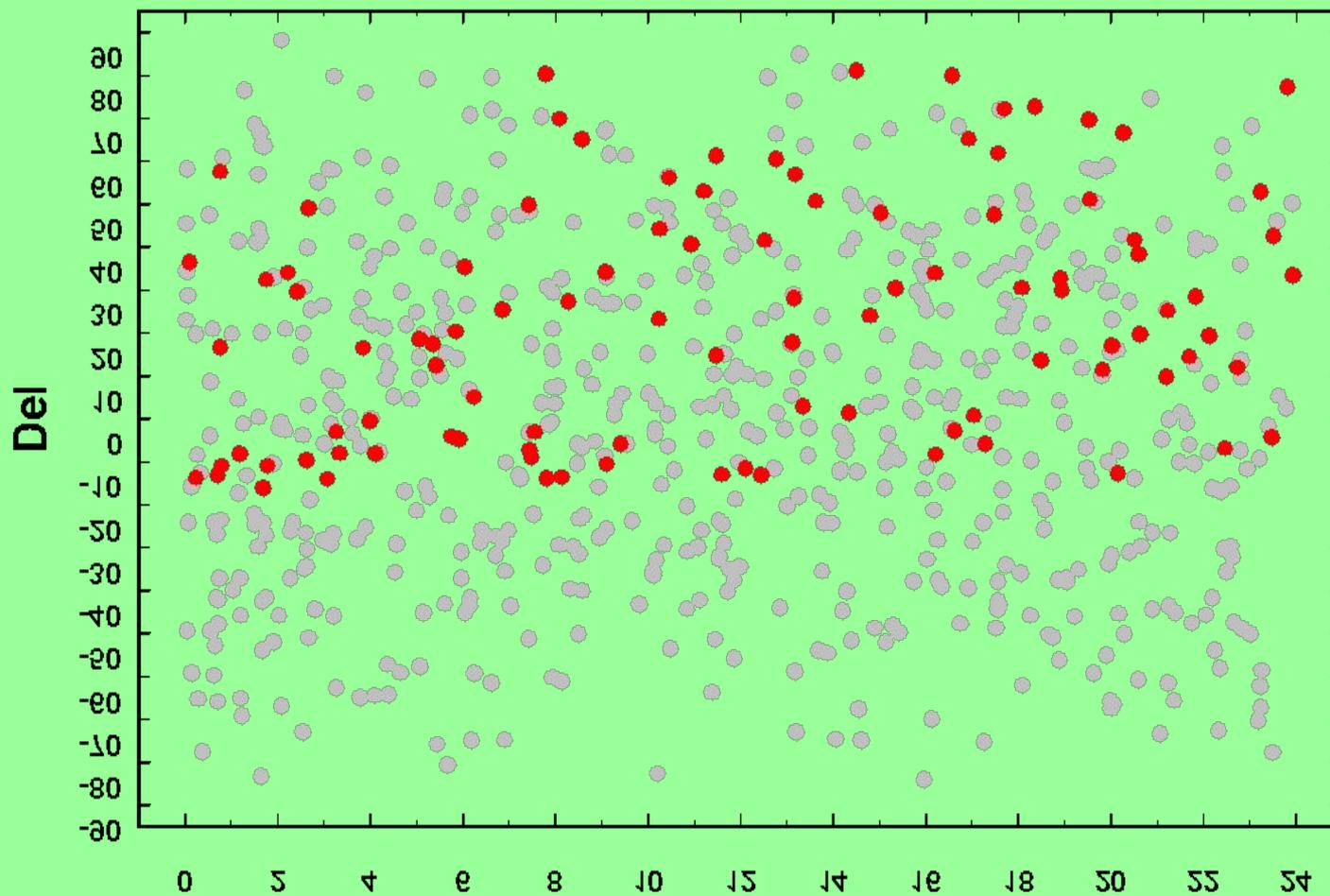
# Отбор наших кандидатов. Последний этап. Двухцветная диаграмма.



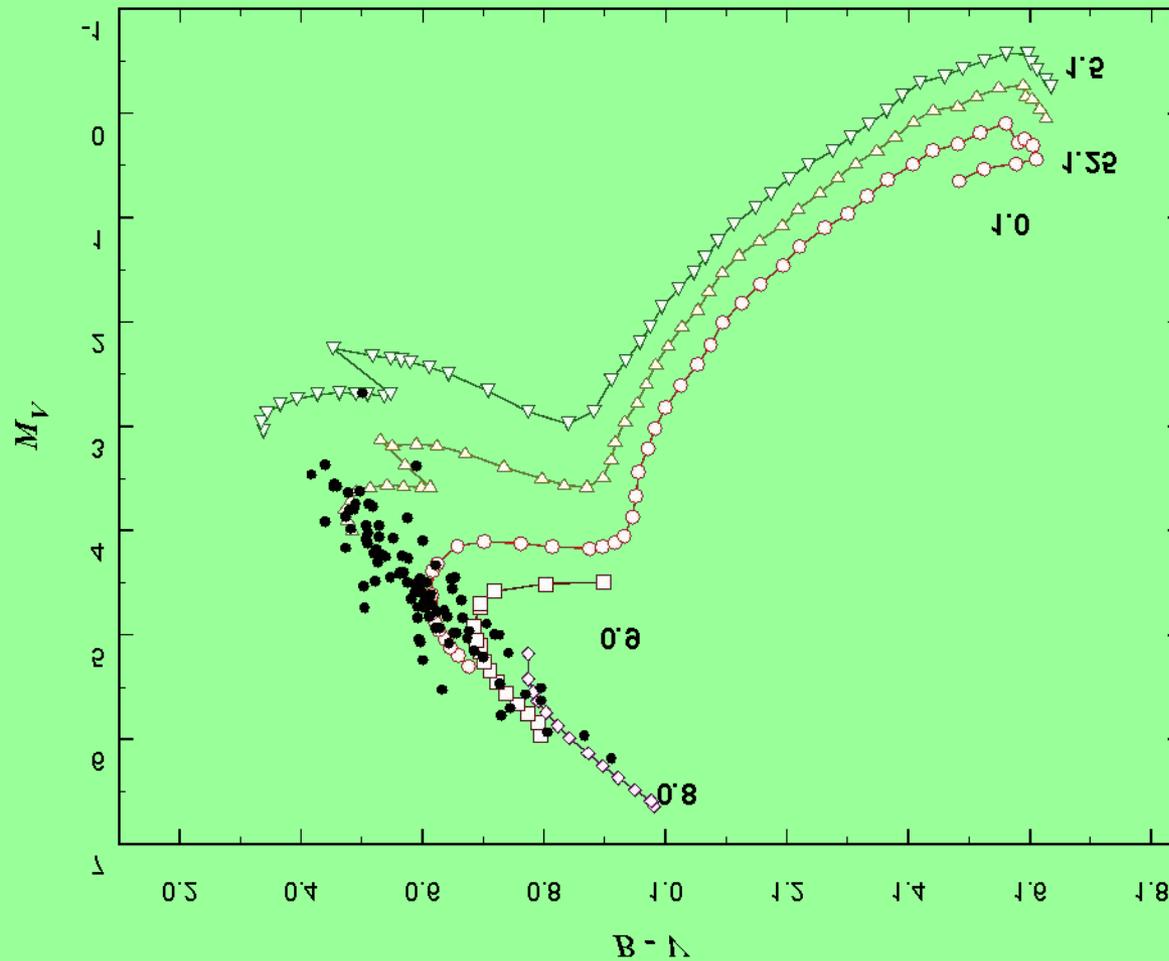
Возраст и металличность звезд находятся в антикорреляции. Удалены звезды с пространственной скоростью  $> 60$  км/с, которые статистически имеют самую низкую металличность.

**Осталось ровно  
100 звезд**

# Анализ отобранных кандидатов. Положение на небесной сфере.



# Анализ отобранных кандидатов. Положение на Г-Р диаграмме.



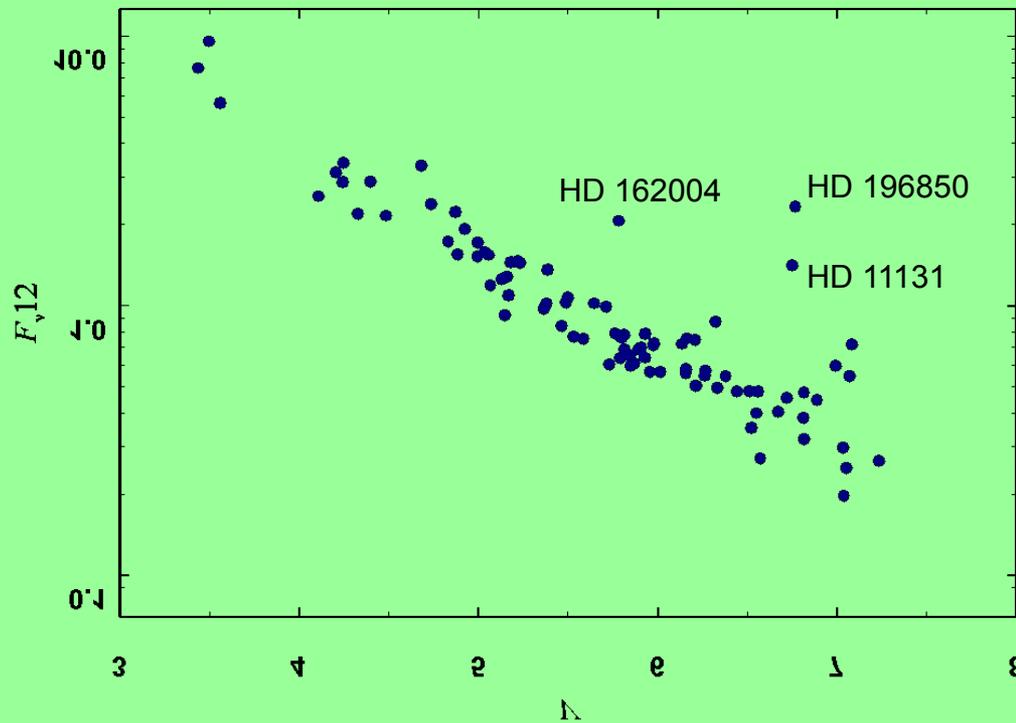
## Анализ отобранных кандидатов. Сравнение со списками T&T.

Все 760 (и следовательно все 100) отобранных звезд содержатся в *HabCat*.

В число 100 отобранных звезд входят 3 звезды из членов 100 ближайших систем. Это  $\eta$  Cas,  $\tau$  Cet и HD 185144.

В число 100 отобранных звезд входят 8 объектов из списка 25 «наиболее приоритетных». T&T считают приоритетными звезды, удаленные не более чем на 25 пк и наиболее подобные Солнцу.

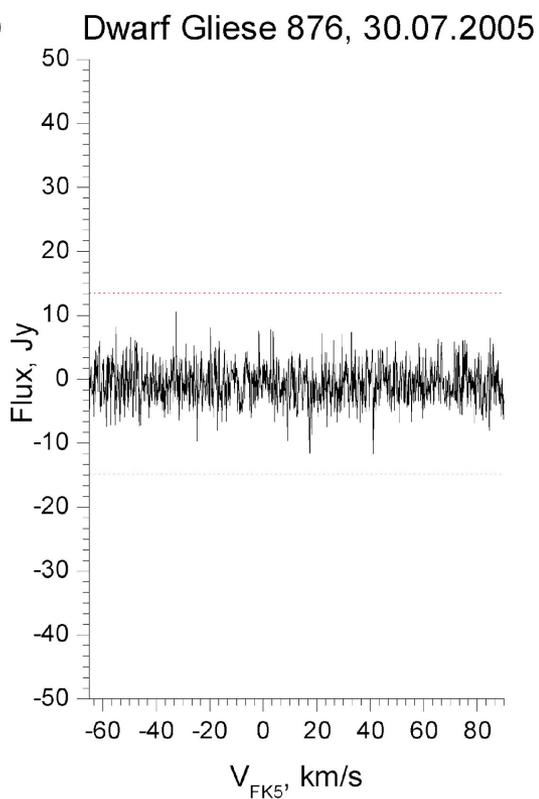
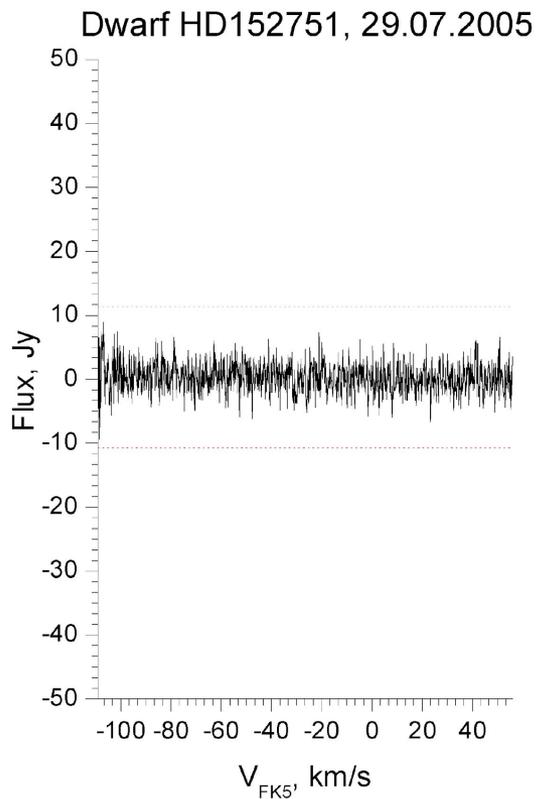
# Анализ отобранных кандидатов. Сравнение визуальных и ИК потоков.



Анализ отобранных кандидатов.  
Отождествление с радиоисточниками каталога  
NVSS.

HD	$\Delta r''$	S(мЯн)	$\sigma S$
1388	54.9	2.3	0.5
26337	3.6	3.6	0.5
146361	11.7	4.1	0.5
206860	24.7	50.3	1.6

# Первые результаты наблюдений в ПРАО. I.

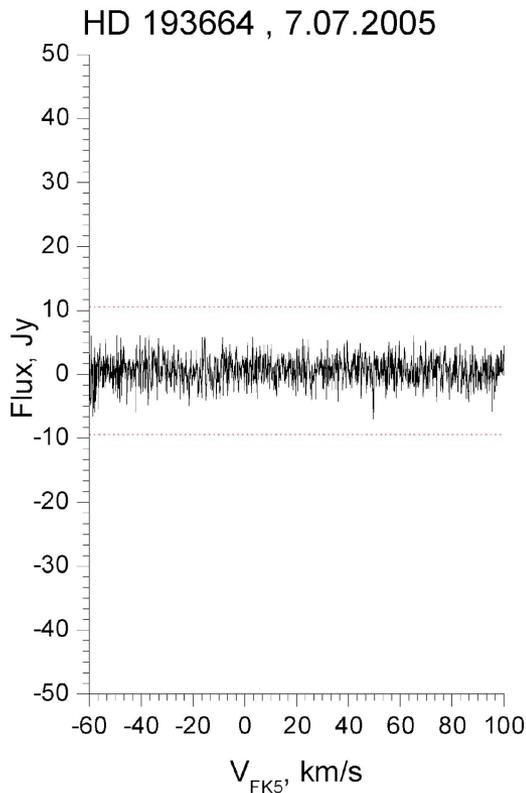
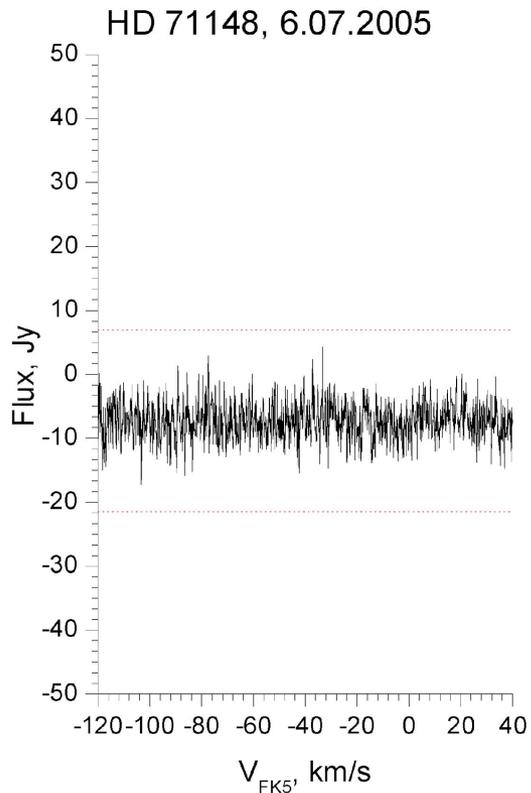


HD 152751=  
CNS 644=  
Wolf 630.  
Сигнал вне  $S_0=5\sigma$   
не обнаружен.

Gliese876

Сигнал вне  $S_0=5\sigma$   
не обнаружен.

# Первые результаты наблюдений в ПРАО. II.



HD 71148

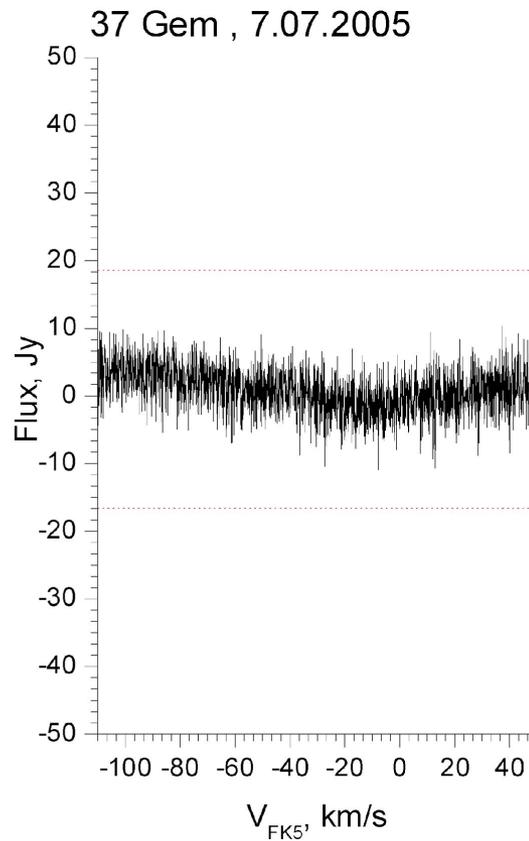
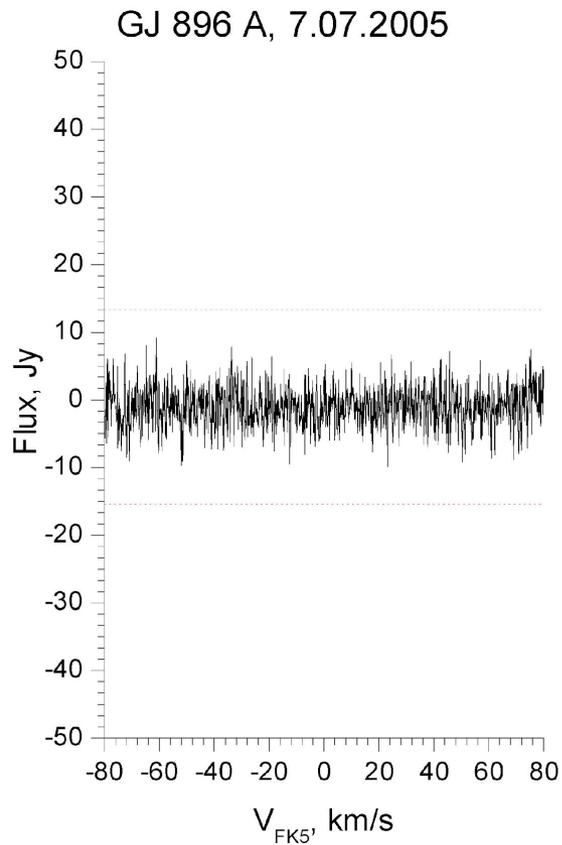
Сигнал вне  $S_0=5\sigma$   
не обнаружен.

Есть подозрение  
на протяженную  
компоненту  
вблизи центра  
спектра

HD 193664

Сигнал вне  $S_0=5\sigma$   
не обнаружен.

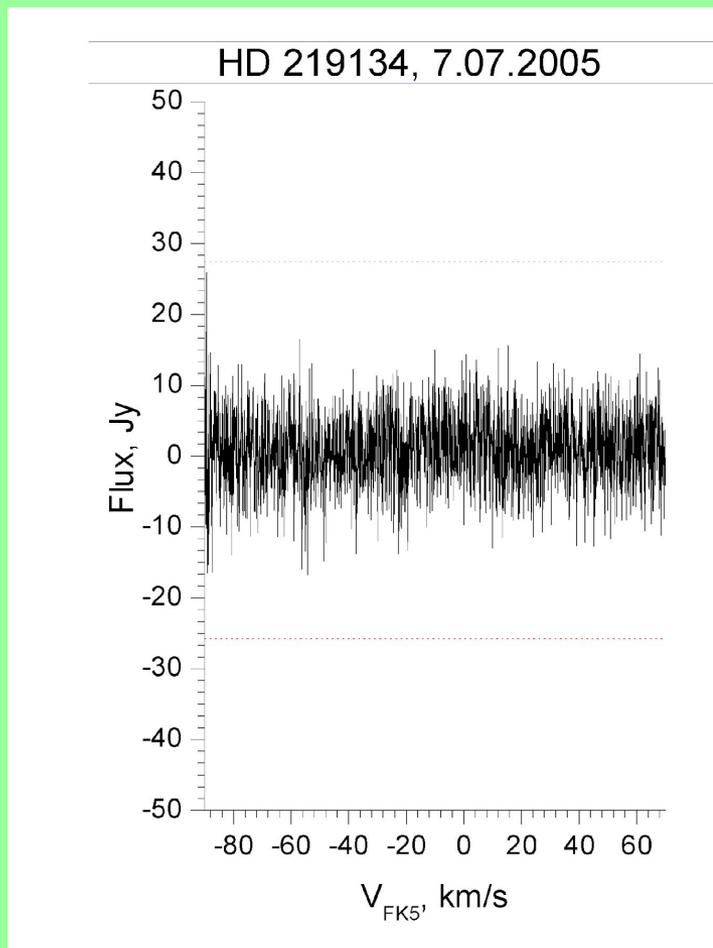
# Первые результаты наблюдений в ПРАО. II.



Gliese896A =  
EQ Peg  
Сигнал вне  $S_0=5\sigma$   
не обнаружен.

37 Gem =  
HD 33277  
Сигнал вне  $S_0=5\sigma$   
не обнаружен.  
Есть инструмен-  
тальное искажение  
сигнала

# Первые результаты наблюдений в ПРАО. IV.



HD 219134

Сигнал вне  $S_0=5\sigma$   
не обнаружен.

**Из числа 157 компонентов, входящих в 100 ближайших систем только 58 звезд могут рассматриваться как кандидаты для SETI.**

**Предложены списки из 760 и из 100 звезд-кандидатов для SETI, возраст которых превышает  $3 \cdot 10^9$  лет, а расстояние менее 25 пк. Нужны их наблюдения в ИК и радио-диапазонах.**

**Необходимы дальнейшие наблюдения для выявления старых карликов в окрестностях Солнца.**

**Существующих сведений о наличии карликов, о скоростях их вращения и возрастах категорически недостаточно.**

Спасибо за внимание