

УДК 524.31

Л. Н. КНЯЗЕВА

## ПОИСК СОЛНЕЧНЫХ АНАЛОГОВ В ОТКРЫТЫХ СКОПЛЕНИЯХ: NGC 188

Собраны и проанализированы основные характеристики старого открытого скопления NGC 188: возраст, расстояние, покраснение, обилие металлов и лития. Вычислены нормальные показатели цвета звезд скопления и построена диаграмма цвет- величина и выбраны солнечные аналоги, на основании их показателей цвета B-V и положения на диаграмме цвет- звездная величина.

Обнаружение планетных кандидатов вокруг близких звезд разного типа (звезды главной последовательности, субгиганты, гиганты сверхгиганты и даже белые карлики) может служить свидетельством того, что формирование звезд сопровождается формированием планет. Наибольший интерес представляет поиск планет земной массы, пригодных для обитания и, конечно, для жизни. В настоящее время нам известна только одна звезда, имеющая планету, на которой есть жизнь – это наше Солнце, и разумно предположить, что планеты, подобные Земле, нужно искать около звезд, идентичных Солнцу по своим характеристикам.

Новый метод поиска планет, путем регистрации ослабления блеска звезды из-за транзита планеты по ее диску, открыл новые возможности для поиска планет около слабых звезд. В настоящее время в рамках проекта «Обширный Поиск Планет в Звездных скоплениях (PISCES)»[1], контролируется яркость тысяч звезд в нескольких скоплениях. Выбор солнечных аналогов в открытых скоплениях является важным моментом, так позволяет ограничить круг объектов для исследования.

Поиск звезд – солнечных аналогов, т.е. звезд с тем же самым спектральным распределением энергии как у Солнца, следовательно, с теми же самыми металличностями и эффективными температурами, очень важен для ответа на вопрос, являются ли уникальными наше Солнце и наша собственная планетная система. Если Солнце – типичная звезда своего спектрального подкласса G2V, то, исследуя звезды солнечной массы, но разного возраста, можно восстановить историю эволюции Солнца. Наиболее подходящими для этой цели являются звезды открытых скоплений разного возраста с обилием элементов, близким

к солнечному, потому что возраст скоплений определяется более уверенно, чем возраст отдельных звезд поля.

Для поиска солнечных аналогов нами были отобраны 11 достаточно близких открытых скоплений с возрастами от 30 Муг до 7.0 Гуг и с солнечным обилием металлов. Результаты выбора звезд–солнечных аналогов в двух открытых скоплениях M67 и Плеяды, представлены в работах [2,3].

В этой статье мы рассматриваем NGC 188 – одно из старых открытых скоплений известных в нашей Галактике. Скопление расположено достаточно далеко от галактического диска и содержит более 1000 звезд – вероятных членов. Его поле сильно не загрязнено звездами фона и также относительно свободно от пыли [4].

Скопление NGC 188 стало предметом многочисленных астрометрических и фотометрических исследований с тех пор, как стало известно, что оно является достаточно старым. Вероятности членства для звезд в области NGC 188, основанные на обширных наблюдениях собственно го движения, представлены в работах [5-7] .

Большое число фотометрических наблюдений ([8-10] – UBV фотоэлектрическая фотометрия, [7, 11-13] – CCD UBVRI фотометрия) позволило оценить основные характеристики скопления, такие, как возраст, расстояние до скопления и межзвездное покраснение в направлении скопления. Эти данные, собранные из различных литературных источников вместе со ссылками, приведены в таблице 1 работы [14]. Самый современный каталог звезд NGC 188 представлен в [15]. Он содержит детальную информацию для более чем 9000 звезд в области скопления, основанную на всех доступных фотометрических данных в системе UBVRI.

Оценки возраста для NGC188 изменились достаточно сильно. Как показали последующие работы, первые значения 14-16 Gyr, полученные в [16], сильно завышены. Наиболее современные значения возраста скопления заключены в пределах от ~6 Gyr [6,11,17,18] до ~7-8 Gyr [13,15, 19].

Оценки межзвездного покраснения также изменились от 0.<sup>m</sup>00 до 0.<sup>m</sup>17, самые современные определения [13] дают  $E(B-V) = 0.^m09$ , близкое к значению межзвездного покраснения, полученному из карт пыли [19] –  $E(B-V) = 0.^m087$ .

Значения модуля расстояния ( $V_0 - M_V$ ), полученные разными авторами заключены в пределах от 10.85 до 12.0.

Все эти оценки (возраст, расстояние, покраснение) базировались на подгонке модельных изохрон к главной последовательности скопления, точке поворота и ветви гигантов на диаграмме цвет-величина, что позволяло одновременно определить расстояние, покраснение и возраст скопления. Но эти величины очень чувствительны к неопределенности в оценке обилия металлов, а также к неопределенностям в преобразовании между модельными (болометрическая светимость, температура) и наблюдаемыми (абсолютная величина, цвет) величинами.

Высокоточная UVRI CCD фотометрия [13], выполненная для большого числа звезд скопления, позволила построить диаграмму цвет-величина, которая простирается почти от ветви красных гигантов и приблизительно на 5<sup>m</sup> ниже точки поворота от главной последовательности. Наилучшая подгонка к изохронам этих данных, дает  $E(B-V) = 0.09 \pm 0.02$ , а модуль расстояния  $11.44 \pm 0.08$  и возраст  $7.0 \pm 0.5$  Gyr.

Так как все звезды в скоплении должны иметь одно и то же обилие металлов, принято определять средние для скопления значения  $[Fe/H]$  для скопления. Среднее обилие металлов для NGC188 определялось двумя способами: из спектроскопии высокого, умеренного и низкого разрешения для наиболее ярких звезд скопления и как побочный продукт подгонки теоретических изохрон к главной последовательности скопления при определении модуля расстояния. Спектроскопия высокого разрешения карликов NGC 188 [20] дает среднее  $[Fe/H] = -0.12 \pm 0.16$  (для  $\xi = 1$  км/с) и  $[Fe/H] = -0.01 \pm 0.15$  (для  $\xi = 0.5$  км/с). Из спектроскопии умеренного разрешения [21, 22]

получаются  $[Fe/H] = -0.10$  и  $[Fe/H] = 0.00$ , соответственно. Из анализа спектров низкого разрешения К-гигантов в [23] выведено среднее  $[Fe/H] = 0.075$ . Из фотометрии в V и I полосах [24] находят  $[Fe/H] = -0.04$ . Используя UVRI CCD и подгонку к изохронам в [13], получают  $[Fe/H] = 0.00$ . В работе [14] значение  $[Fe/H] = 0.00$  получено, используя  $u'g'r'i'z$  фотометрию и модельные изохроны. На основе этих данных можно полагать, что среднее обилие металлов  $[Fe/H]$  для скопления близко к солнечному значению.

Для предварительного выбора солнечных аналогов в скоплении NGC 188, мы использовали BV фотометрию, так как значения показателя цвета (B-V) известны для большинства G звезд. Кроме того, и это особенно важно, B-V цвета обеспечивают надежные определения  $T_{\text{эфф}}$ . По крайней мере, для G звезд, фотометрические температуры, полученные из B – V, в целом хорошо согласуются с температурами, полученными через спектроскопический анализ.

Для построения диаграммы цвет-величина мы использовали самые современные UVB CCD наблюдения [13], содержащие данные для большого числа звезд, представляющих для нас интерес. В нашем анализе, мы выбрали звезды вероятностями членства более чем 80% [7].

Нормальные показатели цвета (B-V)<sub>0</sub> вычислены с  $E(B-V) = 0.^m09$ , которое на настоящий момент мы считаем наиболее достоверным.

На рисунке 1 представлена диаграмма цвет – видимая звездная величина для скопления NGC188 (открытые кружки) вместе с наиболее достоверной главной последовательностью для этого скопления, полученной в [15] на основе анализа собственных наблюдений и многочисленных фотометрических наблюдений, выполненных разными авторами.

Мы выбрали звезды с показателями цвета (B-V)<sub>0</sub> в диапазоне от 0.63 до 0.66, лежащие вблизи главной последовательности скопления. Диапазон показателя цвета (B-V)<sub>0</sub> выбран на основании наиболее современных значений (B-V)<sub>сол</sub>, которые приведены в таблице 1 вместе со ссылками.

Описание таблицы:

Колонки 1-6 – Номер звезды в скоплении согласно нумерации принятой в базе данных WEBDA, 2-7- звездные величины, 3-8 – наблюденный показатель цвета, 4-9- нормальный показатель цвета, 5-10 – эффективная температура.

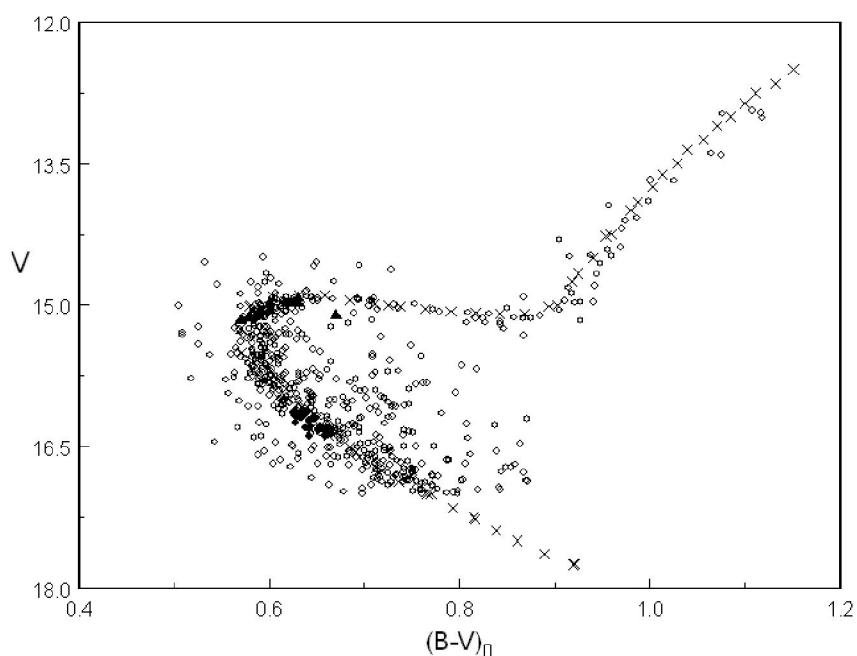


Рис 1. Диаграмма цвет-видимая величина для NGC188. Открытыми кружками обозначены звезды-члены скопления, кресты – достоверная главная последовательность для скопления, закрытые кружки – выбранные солнечные аналоги и треугольники-звезды, для которых определялось обилие лития

Таблица 1. Показатели цвета Солнца

$B-V$	ссылки
0.62	Из солнечных аналогов [25]
$0.642 \pm 0.016$	Из солнечных аналогов [26](a)
0.648	(b) свертка наблюденного солнечного спектра с кривыми реакции системы UBV [27]
0.635	(c) свертка наблюденного солнечного спектра с кривыми реакции системы UBV [28]
0.651	(g) свертка наблюденного солнечного спектра с кривыми реакции системы UBV [29]
0.645	(d) ATLAS9, свертка модельного солнечного спектра с кривыми реакции системы UBV [30]
0.658	(e) свертка модельного солнечного спектра с кривыми реакции системы UBV [30]
0.633	(f) MARCS; свертка модельного солнечного спектра с кривыми реакции системы UBV

В таблице 2 представлен список выбранных звезд.

Таблица 2

Num	V	B-V	$(B-V)_0$	Teff	Num	V	B-V	$(B-V)_0$	Teff
<b>144</b>	16.16	0.72	0.63	5772	<b>2166</b>	16.17	0.72	0.63	5772
<b>218</b>	16.32	0.74	0.65	5696	<b>2177</b>	16.15	0.72	0.63	5772
<b>553</b>	16.39	0.73	0.64	5734	<b>2183</b>	16.29	0.74	0.65	5696
<b>600</b>	16.13	0.72	0.63	5772	<b>3023</b>	16.38	0.75	0.66	5659
<b>799</b>	16.25	0.72	0.63	5772	<b>3071</b>	16.20	0.73	0.65	5696
<b>1031</b>	16.30	0.73	0.64	5734	<b>3077</b>	16.17	0.71	0.63	5772
<b>1098</b>	16.39	0.75	0.66	5659	<b>3079</b>	16.32	0.74	0.66	5659
<b>2035</b>	16.32	0.75	0.66	5659	<b>3095</b>	16.30	0.72	0.64	5734
<b>2037</b>	16.12	0.73	0.64	5734	<b>3097</b>	16.20	0.72	0.63	5772
<b>2112</b>	16.16	0.72	0.63	5772	<b>3103</b>	16.15	0.72	0.63	5772
<b>2131</b>	16.37	0.75	0.66	5659	<b>3127</b>	16.23	0.73	0.64	5734
<b>2144</b>	16.37	0.75	0.66	5659	<b>3155</b>	16.17	0.72	0.63	5772
<b>2164</b>	16.30	0.75	0.66	5659	<b>6974</b>	16.13	0.72	0.64	5734

Эффективные температуры вычислены по соотношению между эффективной температурой и показателем цвета B-V согласно формуле из [31]:  $T_{\text{eff}} = 1808(B-V)_0^2 - 6103(B-V)_0 + 8899$

Ошибка в показателе цвета 0.01 для звезд с показателями  $(B-V) \geq 0.6$  дает ошибку в определении температуры, составляющую  $\sim 40\text{K}$ .

Выбранные звезды не входят в списки переменных звезд, наблюдавшихся в скоплении [1, 32], и не обнаружены как двойные в [33].

Важной характеристикой для солнечных аналогов является обилие лития. Его измерения в скоплениях различных возрастов и химических составов позволяют исследовать зависимость исчерпания лития от возраста, металличности и, возможно, от других звездных параметров.

Среднее обилие лития для скопления получается из измерений обилия лития в группе выбранных звезд скопления, используя измеренные эквивалентные ширины  $\text{Li I} \lambda 6707.8\text{\AA}$  и кривые роста (COG) из [31]. Обилие лития для 11 звезд скопления получено в работе [22]. Все исследованные звезды в NGC 188 имеют равное обилие лития ( $\log n(\text{Li}) = 2.34 \pm 0.13$ ) фактически без рассеяния. Удивительно, что звезды, которые старше Солнца примерно на 2 Gyr, имеют обилие лития немного меньшее, чем более молодые Hyades ( $\log n(\text{Li})_{\text{ср.}} = 2.57$ ) и существенно большее, чем Солнце ( $\log n(\text{Li})_{\text{ср.}} = 1.16$ ). Звезды, по которым оценивалось среднее обилие лития, не являются солнечными аналогами, они покинули главную последовательность (рис 1, треугольники), поэтому важно определить обилие для солнечных аналогов, чтобы искать причину такого существенного различия между обилием лития на Солнце и в звездах NGC 188.

Рентгеновские наблюдения NGC 188, выполненные ROSAT и XMM-Newton [34,35], обнаружили сильную рентгеновскую эмиссию у 6 вероятных членов скопления. Один из них – быстро вращающийся гигант, другой – объект типа FK Com и четыре тесные двойные W UMa или двойные типа RS CVn. У выбранных нами звезд не обнаружено рентгеновской эмиссии, возможно, потому, что NGC 188 далекое скопление и чувствительности этих рентгеновских спутников недостаточно, чтобы ее обнаружить у солнечных аналогов.

Мы надеемся, что звезды, выбранные в результате нашего анализа характеристик скопле-

ния, будут служить хорошими целями для обнаружения планет, подобных Земле. Кроме того, эти звезды интересны и сами по себе, если действительно они имеют обилие лития слишком высокое для их возраста.

## ЛИТЕРАТУРА

1. *Mochejska B. J. et al.* Planets in Stellar Clusters Extensive Search. V. Search for Planets and Identification of 18 new Variable Stars in the Old Open Cluster NGC 188. // *Acta Astronomica*, V.58, P. 263.
2. *Князева Л.Н.* Поиск звезд наиболее близких к Солнцу по их физическим параметрам в открытых скоплениях: M67. // *Известия МОН РК серия физ.-мат.*, 2007, Т. 4. С.81.
3. *Князева Л.Н.* Поиск звезд наиболее близких к Солнцу по их физическим параметрам в открытых скоплениях: Плеяды. // *Известия МОН – НАН РК. Серия физ.-мат.*, 2008, Т.4, С.77.
4. *Bonatto C., Bica E., Santos J.* Spatial dependence of 2MASS luminosity and mass functions in the old open cluster NGC 188. // *A&A*, 2005, V.433, P.917.
5. *Upgren A. R., Mesrobian W. S., Kerridge S. J.* Proper motions, membership, and stellar content of the old cluster NGC 188. // *AJ*, 1972, V.77, P.74.
6. *Dinescu D. I. et al.* The Ages of the Disk Clusters NGC 188, M67, and NGC 752, Using Improved Opacities and Cluster Membership Data. // *AJ*, 1995, V.109, P.2090.
7. *Platais I. et al.* WIYN Open Cluster Study. XVII. Astrometry and Membership to V=21 in NGC 188. // *AJ*, 2003, V. 126, P. 2922.
8. *Eggen O.J., Sandage A.R.* New photometric data for the old galactic cluster NGC 188: the presence of a gap, chemical composition, and distance modulus. // *ApJ*, 1969, V.158, P.669.
9. *McClure R.D.* Possible abundance difference among giant stars in NGC 188// *ApJ*, 1974, V.194, P.3555.
10. *Jennens P.A., Helfer H.L.* Photometric metal abundances for twenty clusters // *MNRAS*, 1975, V.172, P.681.
11. *Caputo F. et al.* CCD photometry of stars in the old open cluster NGC 188 // *AJ*, 1990, V.99, P.261.
12. *Kamel L.* BVRI photometry of possible standard stars in NGC 188. // *Astron Nachr*, 1998, V.319, P.183.
13. *Sarajedini A. et al.* WIYN open cluster study. II. UBVR CCD photometry of the open cluster NGC 188 // *AJ*, 1999, V.118, P.2894.
14. *Fornal B. et al.* Survey of Open Clusters in the u'g'r'i'z' Filter System. III. Results for the Cluster NGC 188. // *AJ*, 2007, V.133, P. 1409.
15. *Stetson P.B., McClure R.D.* A star catalog for the open cluster NGC 188 , *PASP*,2004,116,1012
16. *Sandage A.* Photometric Data for the Old Galactic Cluster NGC 188. // *ApJ*, 1962, V. 135, P.333.
17. *Twarog B.A., Anthony-Twarog B.J.* NGC 188, the age of the galactic disk, and the evolution of the Li abundance. // *AJ*, 1989, V. 97,P. 759.
18. *Meibom S. et al.* Age and distance for the old open cluster NGC188 from the eclipsing binary member V121. *astroph* 0903.3566.
19. *Schlegel, D. J., Finkbeiner D. P., Davis, M.* Maps of Dust Infrared Emission for Use in Estimation of Reddening

and Cosmic Microwave Background Radiation Foregrounds. //ApJ, 1998, V.500, P.525.

20. Hobbs, L. M., Thorburn, J. A., Rodriguez-Bell, T. On the metallicity and the turnoff age of NGC 188.// AJ, 1990, V. 100, P. 710.

21. Friel E. D. et al. Metallicities of Old Open Clusters.// AJ, 2002, V. 124, P. 2693.

22. Randich S., Sestito P., Pallavicin R. Evolution of lithium beyond the solar age: A Li survey of the old open cluster NGC 188. //A&A, 2003, V.399, P.133.

23. Worthey G., Jowett K. J. The Metal Abundances of NGC 188 and NGC 6791 from Low-Resolution Spectra. //PASP, 2003, V. 115, P.96

24. Von Hippel T., Sarajedini A. WIYN Open Cluster Study. I. Deep Photometry of NGC 188.// AJ, 1998, V. 116, P. 1789.

25. Ramirez I., Melendez J. The Effective Temperature Scale of FGK Stars. I. Determination of Temperatures and Angular Diameters with the Infrared Flux Method. //ApJ, 2005, V.626, P.446.

26. Holmberg, J., Flynn, C., Portinari, L. The colours of the Sun.// MNRAS, 2006, V.367, P.. 449.

27. Colina L. et al. The 0.12-2.5 micron Absolute Flux Distribution of the Sun for Comparison With Solar Analog Stars.// AJ,1996, V.112, P.307.

28. Thuillier G. et al. Solar irradiance reference spectra for two solar active levels // AdSpR, 2004, V. 34, P. 256.

29. Casagrande L., Portinari L., Flynn C. Accurate fundamental parameters for lower main-sequence stars.// MNRAS, 2006, V.373, P. 13.

30. Kurucz R.L.ATLAS9 Stellar Atmosphere Programs and 2 km/s grid. Kurucz CD-ROM No. 13. Smithsonian Astrophysical Observatory, Cambridge, MA, 18.

31. Soderblom D.R. et al. The evolution of the lithium abundances of solar-type stars. III – The Pleiades.//AJ,1993, V.106, P.1059.

32. Kafka S., Honeycutt R. K. WIYN open cluster study.XV. Photometric monitoring of open cluster: New variables in NGC 188. //AJ, 2003, V. 126, P. 276.

33. Geller A.M. WIYN open cluster study. XXXVI. Spectroscopic binary orbits in NGC 188.// AJ, 2009 ,V.137, 3743.

34. Belloni T., Verbunt F., Mathieu R.D. X—rays from old open clusters: M 67 and NGC 188.// A&A,1998,V.339, P.431.

35. P. Gondoin P. X-ray observations of the old open stellar cluster NGC 188.// A&A, 2005, V.438, P.291.

*Работа выполнена в рамках проекта ПФИ «Изучение систем и объектов ближнего и дальнего космоса, исследования Земли из космоса, развитие научных основ космических технологий».*

### Резюме

Ескірген ашық шоғырының NGC 188 негізгі сипаттамалары (жас, кашыктық, қызыру, металдар мен литийдің көптіктері) жиналған және талдаң шығарылған. Шоғырдың жұлдыздарының қалыпты түс көрсеткіштері есептелген және түс жұлдыздық шама диаграммасы құрылды. Олардың түс көрсеткіштері (B-V) және түс-жұлдыздық шама диаграммасындағы орны негізінде Күн аналогтары тандалған.

### Summary

The basic characteristics of the old open cluster NGC 188 : an age, an extinction, abundances of metals and lithium have been compiled and analyzed. The normal color indexes of the stars in the cluster were calculated and color- magnitude diagram was plotted. The solar analogs were selected on the basis of their (B-V) colors and location on the color- magnitude diagram.

Департамент «Астрофизический институт  
им. В.Г. Фесенкова»  
г. Алматы

Поступила 20 апреля 2009 г.