

ИССЛЕДОВАНИЕ СЛАБЫХ ГАЛАКТИЧЕСКИХ УГЛЕРОДНЫХ ЗВЕЗД ИЗ ПЕРВОГО БЮРАКАНСКОГО СПЕКТРАЛЬНОГО ОБЗОРА НЕБА. IV. GAIA DR2 ДАННЫЕ

Г.Р.КОСТАНДЯН

Поступила 13 сентября 2019

Принята к печати 18 декабря 2019

Данные второго выпуска Gaia (Gaia DR2) используются для анализа и оценки некоторых важных параметров для 127 углеродных звезд (C), из которых 56 являются звездами AGB класса N, а 71 - гиганты ранних CH классов, обнаруженные на низкодисперсионных спектральных пластинках обзора FBS. Для FBS C-звезд широкополосные G величины Gaia DR2 находятся в диапазоне $9^{\text{m}}.4 < G < 18^{\text{m}}.2$. Лучевые скорости RV доступны для 75 C-звезд из 127. Для 9 объектов значения RV превышают 200 км/с. Для 18 FBS C-звезд, имеющих данные о светимости в DR2, из которых 17 являются CH гигантами, оценены абсолютные величины в полосе V . Они находятся в диапазоне от $-3^{\text{m}}.4 \leq M_V \leq +0^{\text{m}}.5$. Для FBS 1918 + 869 абсолютная величина $M_V = -3^{\text{m}}.4 \pm 0^{\text{m}}.2$, что характерно для AGB C-звезд класса N. Имея оценки расстояний, была построена диаграмма Герцшпрунга-Рассела (HRD, или цвет-абсолютная величина) для 127 C-звезд. Все обнаруженные FBS C-звезды являются гигантами и AGB звездами в Галактическом Гало. Они находятся на расстоянии 14 кпк от Солнца и 8 кпк от галактической плоскости.

Ключевые слова: *углеродные звезды; обзоры; звезды поздних классов*

1. *Введение.* Первый Бюраканский обзор неба (FBS), также известный как обзор Маркаряна - это низкодисперсионный объективно-призмный обзор, который проводился с помощью 1-м телескопа Шмидта Бюраканской обсерватории, и охватывает область около 17000 кв. град. северного неба и часть южного неба на высоких галактических широтах, определенных как $\delta > -15^\circ$ и $|b| > 15^\circ$. FBS проводился для обнаружения галактик с ультрафиолетовым избытком (UVX) [1].

Начиная с 1990-х годов, низкодисперсионные пластинки FBS использовались для отбора сравнительно слабых (слабее 12^{m} в визуальных лучах) звезд поздних спектральных классов LTS (Late-Type Stars), M и углеродных (C) звезд в высоких широтах. Большой спектральный диапазон FBS $\lambda\lambda 3400 - 6900 \text{ \AA}$ хорошо подходит для идентификации холодных звезд M и C классов. C-звезды можно идентифицировать на основе присутствия полосы поглощения молекулы C_2 4737, 5165 и 5636 $\text{ \AA}$ (C-звезды N класса, система Свана). Объекты,

показывающие также полосы $4382 \text{ \AA}$ молекулы C_2 , являются звездами ранних классов С (звезды класса R, или CH). Звезды М класса легко отличаются благодаря полосам поглощения молекулы TiO на длинах волн 4584, 4762, 4954, 5167, 5500 и $6200 \text{ \AA}$ [2]. Поиск с помощью окуляров (с увеличением 15х) около 2000 пластинок FBS привел к открытию 1045 новых LTS. На основе этого выбора был составлен "Пересмотренный и обновленный каталог первого бюраканского обзора LTS" [2]. Теперь все пластинки FBS оцифрованы (1874 пластинки для 1139 полей), и составлен DFBS (Digitized First Byurakan Survey) [3] (онлайн на <http://byurakan.phys.uniroma.it> или <http://www.ia2-byurakan.oats.it/>). Позже все DFBS пластинки анализировались с помощью стандартных программ анализа изображений FITSView и SAOImage ds9. Преимущества использования этих программ для выбора слабых LTS на пластинках DFBS более подробно описаны в [4]. "Вторая пересмотренная и обновленная версия каталога FBS LTS", содержащая данные для 1471 нового объекта, доступна на CDS (база данных SIMBAD, Vizier) [5]. CCD-спектры среднего разрешения FBS С-звезд, представлены в статьях [6-11], где авторы классифицировали 56 объектов, как AGB (Asymptotic Giant Branch) звезды N класса, а 71 звезда, как ранние CH гиганты. Остальные FBS объекты являются звездами класса М. Оптическая переменность и инфракрасные (ИК) характеристики обсуждаются в работах [12-14] для AGB звезд N класса.

Целью данной работы является дальнейшее использование высокоточных фотометрических и астрометрических данных из Gaia DR2 [15], а также расстояний, представленных в каталоге Bailer-Jones [16], для оценки важных параметров, таких как абсолютные величины и распределение углеродных звезд в нашей Галактике, отобранных на пластинках FBS обзора и представленных в [5].

В разделе 2 описываются данные Gaia DR2 для углеродных звезд FBS и дается оценка некоторых важных физических параметров. В разделе 3 представлены несколько CCD-спектров среднего разрешения, полученных с помощью 2.6-м телескопа Бюраканской астрофизической обсерватории для объектов с большими лучевыми скоростями. В разделе 4 рассматривается галактическое распределение углеродных звезд FBS. Обсуждение и заключение приводится в разделе 5.

2. FBS углеродные звезды. Gaia DR2 данные и некоторые важные параметры. Gaia DR2 содержит астрометрию, фотометрию, лучевые скорости, эффективные температуры, информацию об астрофизических параметрах и переменности для источников ярче, чем $G=21^m.0$ величины (приблизительно 1.7 млрд источников [15]). Все С-звезды FBS были кросскоррелированы с источниками Gaia DR2 каталога (SIMBAD CDS Vizier Catalog I/345/gaia2).

Их широкополосные G фотометрические данные находятся в диапазоне $9^m.4 < G < 18^m.2$, а эффективные температуры между $3291 \text{ K} < T_{\text{eff}} < 5000 \text{ K}$.

2.1. Цвета, светимости и другие характеристики. В Gaia DR2 базе данных радиусы и светимости (в солнечных единицах) приводятся только для 18 С-звезд FBS из 127. Нами оценены абсолютные величины в полосе V для 18 объектов, принимая, что $M_{V_{\odot}} = 4^m.81$ для Солнца (подробнее см. табл.3 работы [17]). В табл.1 представлены важные параметры для этих объектов. В колонках представлены: 1 - номер FBS, 2 - спектральный класс объекта, в колонках 3-7: Gaia DR2 величина G , эффективные температуры T_{eff} , $BP-RP$ показатель цвета, светимости (в солнечных единицах) и оценки абсолютных величин в полосе V .

Таблица 1

Gaia DR2 ДАННЫЕ ДЛЯ 18 FBS УГЛЕРОДНЫХ ЗВЕЗД

FBS номер	Спектр. класс	G mag	T_{eff} К	$BP-RP$ цвет mag	Светимость (в солн. един.)	M_V mag
0018+213	CH	9.41	4838	1.23	83	0.0
0034+341	CH	11.95	4071	1.86	406	-1.7
0254+482	CH	11.21	4198	1.54	94	-0.1
0259+444	CH	12.72	3797	1.35	206	-1.0
0318+238	CH	10.55	4552	1.49	133	-0.5
0323+387	CH	11.73	4226	1.77	368	-1.6
0644+616	CH	12.05	4437	1.50	66	0.2
0831-011	CH	11.53	4658	1.40	52	0.5
1127+782	CH	12.59	4646	1.41	281	-2.6
1140+038	CH	11.73	4696	1.37	63	0.3
1552-002	CH	11.84	4529	1.46	296	-1.3
1727+652	CH	12.07	4399	1.64	576	-2.1
1728+216	CH	11.24	4170	1.63	417	-1.8
1825+272	CH	12.80	4976	1.24	109	0.3
1859+440	CH	11.83	4847	1.39	115	-0.4
1918+869	N	11.15	4028	2.07	1802	-3.4
2158+197	CH	12.55	4797	1.32	132	-0.5
2239+249	CH	10.79	4523	1.43	226	-1.1

Самый яркий объект среди 18 FBS С-звезд (табл.1) - это FBS 1918+869, который является AGB звездой класса N.

На рис.1a, b показаны положения на диаграммах цвет-абсолютная величина M_G и T_{eff} - абсолютная величина (диаграмма Герцшпрунга-Рассела) для 127 FBS С-звезд и 150 М карликов из каталога [5]. Все AGB звезды класса N расположены в верхней части диаграммы, где находятся долгопериодические переменные (мириды, полуправильные переменные, медленные нерегулярные

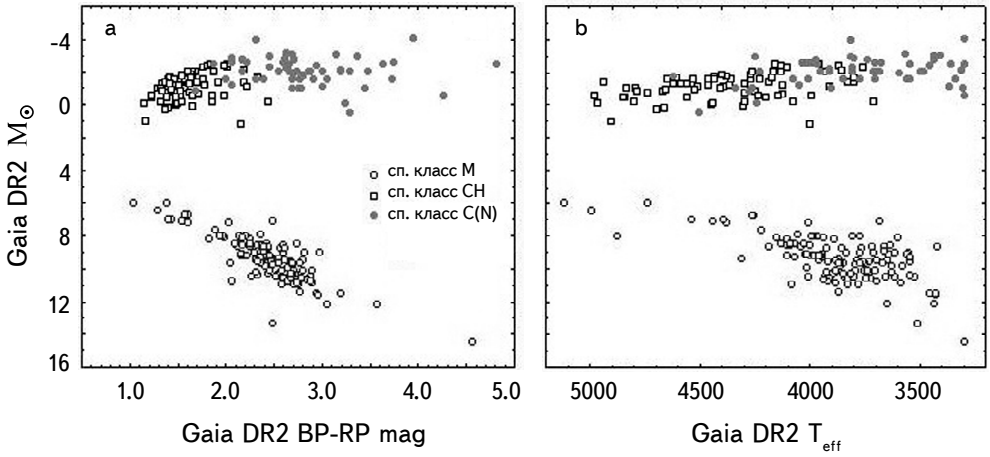


Рис.1a, b. Положения на диаграммах "цвет-абсолютная величина M_G и T_{eff} -абсолютная величина. Диаграмма Герцшпрунга-Рассела для 127 FBS C-звезд, а также для 150 M карликов из каталога [5].

переменные и красные гиганты с малой амплитудой (подробности см. на рис.25a, b в работе [17], а также на рис.2 и 3 в работе [18]). Абсолютные величины в полосе G оценивались с помощью уравнения [17];

$$M_G = G - 5 \log r + 5 - A_G. \quad (1)$$

Здесь не рассмотрено межзвездное поглощение в полосе G (A_G), поскольку на высоких галактических широтах поглощение очень маленькое и незначительное, кроме того, этот параметр не приводится для всех C-звезд FBS в базе данных Gaia DR2. Как видно, на диаграмме HR C-звезды FBS занимают

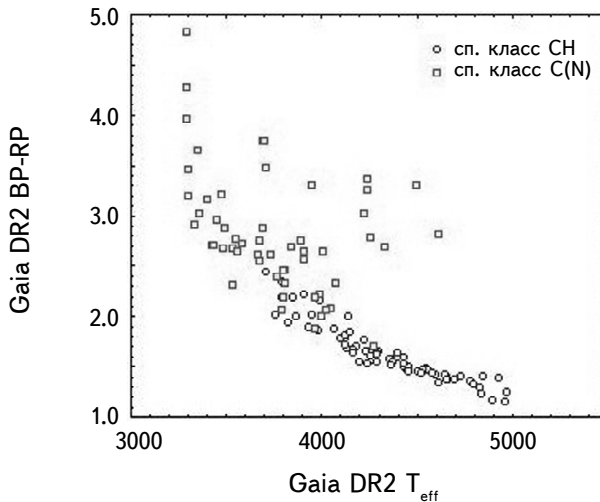


Рис.2. Gaia DR2 соотношение цвет-температура для 127 FBS C-звезд.

область, где расположены красные гиганты и AGB-звезды.

На рис.2 показана диаграмма Gaia DR2 цвет-температура для 127 FBS C-звезд. 11 AGB-звезд N класса находятся далеко от линии нормального распределения. Для них [19] $J - K_s > 2^m.5$. Вероятно, вокруг этих звезд существуют толстые газопылевые оболочки. На основе K - [12] (IRAS) и $J - K$ показателей цвета были определены темпы потери массы для 3 звезд. 3 из 11 звезд показывают два пика в SED (Spectral Energy Distribution) [14], что указывает на присутствие околосветных оболочек. Отметим также, что эффективные температуры, определенные по фотометрическим данным для C-звезд класса CH из FBS [13], находятся в согласии с оценками каталога Gaia DR2 (SIMBAD Vizier Catalog I/345/gaia2) [18].

2.2. Лучевые скорости. Из 127 C-звезд FBS данные о лучевых скоростях RV представлены только для 77 объектов в базе данных Gaia DR2. Их значения находятся в диапазоне $-342.7 \pm 1.93 \text{ км/с} < RV < +280.17 \pm 3.82 \text{ км/с}$.

В табл.2 представлен список 9 углеродных звезд FBS, для которых Gaia DR2 $|RV| > 200 \text{ км/с}$. В колонках приведены: 1 - номер FBS, 2 - спектральный класс объекта, 3-6 - величина G каталога Gaia DR2, эффективные температуры T_{eff} , $BP-RP$ показатель цвета и значение RV .

Таблица 2

GAIA DR2 ДАННЫЕ О ЛУЧЕВЫХ СКОРОСТЯХ ДЛЯ 9 FBS
УГЛЕРОДНЫХ ЗВЕЗД

FBS номер	Спектр. класс	G mag	T_{eff} К	$BP-RP$ цвет mag	RV км/с
0900+034	CH	11.96	4386	1.57	321.87
1043+253	CH	12.83	4297	1.65	212.45
1145-000	CH	13.04	4182	1.70	237.91
1331+421	N	12.58	3796	2.06	-224.95
1406+027	CH	12.86	4791	1.33	280.17
1416+640	CH	12.64	3965	1.87	-342.70
1454+792	N	13.24	4129	1.81	-217.90
1615-048	N	12.53	3993	2.16	-202.34
1752+342	CH	12.55	4256	1.60	-273.96

RV данные очень важны для определения принадлежности этих объектов к тонкому диску, толстому диску и Гало нашей Галактики [20]. Эти звезды (табл.2) дополняют список высокоскоростных (HiVel, High Velocity) звезд, обнаруженных в результате исследований Gaia и LAMOST [21-24] обзоров.

3. Оптические спектры и переменность. На рис.3а, б представлены оптические спектры 2.6-м телескопа Бюраканской астрофизической обсерватории

для FBS 1406+027 СН гиганта с HiVel Gaia DR2 данными и CCD-спектры среднего разрешения для некоторых С-звезд, рассмотренные в статьях [6-11], которые посвящены спектроскопическим подтверждениям С-звезд из FBS. Приводится также спектр объекта FBS 1145-000 из базы данных LAMOST DR4 [25], для которого CCD спектр среднего разрешения не был получен раньше.

SDSS (Sloan Digital Sky Survey) APOGEE спектры для двух гигантов СН класса FBS 1145-000 и FBS 2107+109 в диапазоне от 1.5 до 1.7 мкм доступны

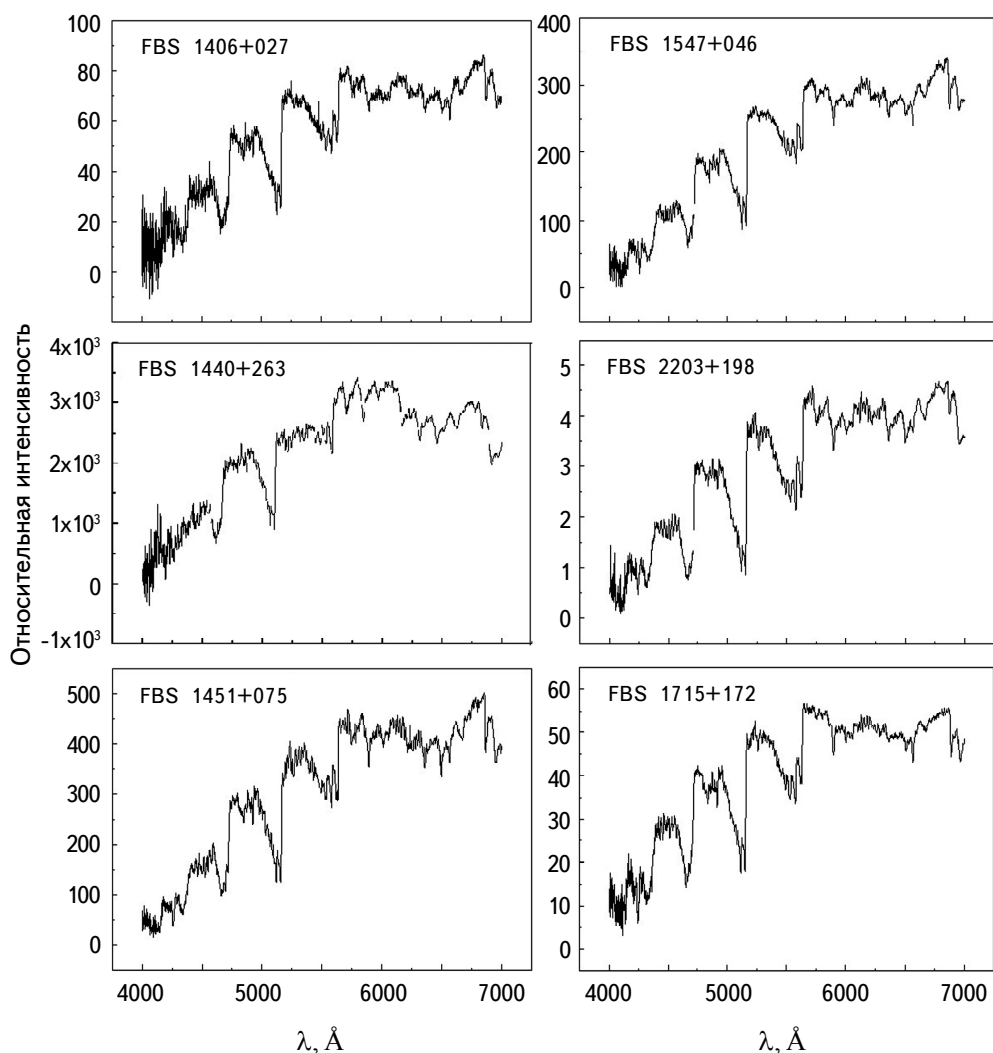


Рис.3а, б. Оптические спектры 2.6-м телескопа Бюраканской астрофизической обсерватории для некоторых С-звезд FBS в диапазоне $\lambda\lambda 4000 - 7000 \text{ \AA}$, а также дополнительный спектр из базы данных LAMOST DR4 для объекта FBS 1145-000 в диапазоне $\lambda\lambda 3900 - 9000 \text{ \AA}$.

по адресу <http://skyserver.sdss.org/dr14/>). Отметим, что данные $V_{helio} = +239.50 \pm 0.141$ км/с и $T_{eff} = 4149$ К для FBS 1145-000 (APOGEE номер 2M11475977-0019182) очень хорошо согласуются со значениями данных Gaia DR2 (см. табл.2). Для FBS 2107+109 (APOGEE номер 2M21095891+1111013) $V_{helio} = -91.775 \pm 0.076$ км/с. В базе данных Gaia DR2 нет данных о лучевой скорости для этого объекта.

На рис.4 показаны кривые блеска для двух FBS-звезд СН класса по данным обзора CSS (Catalina Sky Survey) [25,26] (онлайн доступен по адресу <http://nesssi.cacr.caltech.edu/DataRelease/>). Для углеродных звезд AGB N класса кривые блеска CSS рассмотрены в первой статье этой серии [12]. Судя по кривым блеска CSS, многие СН-звезды можно классифицировать как переменные класса RS CVn, что характерно для двойных систем.

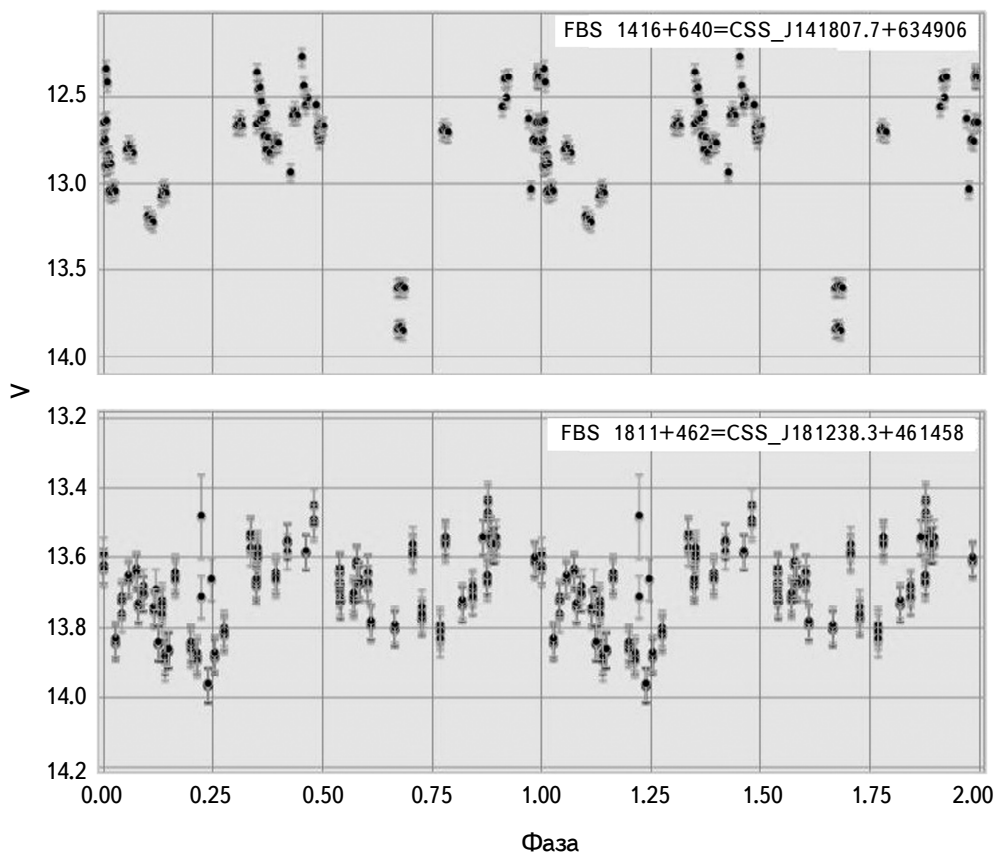


Рис.4. CSS кривые блеска для FBS 1416+640 и FBS 1811+462.

4. *Расстояния.* Оценки расстояний, основанные на параллаксах Gaia DR2 для всех С-звезд FBS, даны в каталоге [16]. С другой стороны, расстояния

для С-звезд FBS оценены в первой статье этой серии [12] на основе пересмотренных соотношений "период-светимость" для AGB С-звезд N класса. Согласно данным [16] каталога, расстояния находятся в диапазоне $736 \text{ пк} < d < 14133 \text{ пк}$. Высота Z над плоскостью Галактики для FBS 0018+213 составляет 480 пк, а для FBS 1811+462 - 6.1 кпк, соответственно. Обе звезды - СН гиганты.

На рис.5 показано пространственное распределение (галактическая долгота в сравнении с галактической широтой) для всех С-звезд FBS, из которого видно, что СН гиганты наблюдаются в основном на высоких галактических широтах.

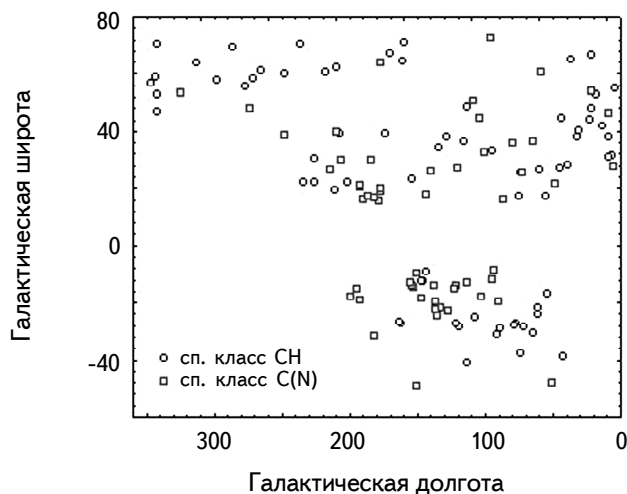


Рис.5. Пространственное распределение для 127 FBS С-звезд.

5. Обсуждение и заключение. Углеродные звезды являются отличными кинематическими трейсерами галактик. Их также можно использовать в качестве видимых стандартных свечей для галактик. Между тем, многие проблемы остаются нерешенными с этими классами объектов, особенно оценка абсолютных величин для ранних типов С-звезд, которые являются теплыми объектами (звезды типа R, СН гиганты и карликовые углеродные звезды (dC)). Углеродные звезды позднего N типа - это холодные и яркие AGB-звезды, для которых применимо соотношение "период-светимость" (PL). В этой статье высокоточные астрометрические и фотометрические Gaia DR2 данные вместе с базой данных CSS используются для анализа и оценки некоторых очень важных физических характеристик ограниченного числа углеродных звезд, обнаруженных на пластинках FBS, с целью выяснить природу этих объектов на высоких широтах. Исследовано 127 FBS С-звезд с использованием данных Gaia, из которых 56 - это звезды AGB N типа,

а 71 звезда - СН гиганты. Имея оценки расстояний, для С-звезд была построена диаграмма Герцшпрунга-Рассела (HRD, или диаграмма цвет-абсолютная величина). Все обнаруженные FBS С-звезды являются гигантами и AGB звездами в галактическом гало. Они находятся на расстоянии от Солнца не более, чем 14 кпк, и 8 кпк от галактической плоскости. Их Gaia DR2 G широкополосные абсолютные величины находятся в диапазоне $+1^m.0 \leq G \leq -4^m.0$. Для 18 С-звезд FBS, имеющих данные о светимости в базе данных DR2, оценены абсолютные величины в полосе V , из которых 17 являются гигантами СН классов. Они находятся в диапазоне от $-3^m.45 \leq M_V < 0^m.5$. Для FBS 1918+869 абсолютная величина $M_V = -3.4 \pm 0^m.2$, что характерно для С-звезд AGB N типа. Одним из важных результатов данной работы является использование диаграммы "показатель цвета $BP-RP - T_{eff}$ " для отбора звезд поздних классов N с газопылевыми оболочками. Лучевые скорости доступны для звезд 75 С из 127. Для 9 объектов значения RV превышают 200 км/с. Эти звезды дополняют список объектов с высокими лучевыми скоростями, обнаруженных недавно на основе базы данных Gaia DR2. Отметим, что все эти объекты являются объектами Галактического Гало и они не отслеживают сфероидальные потоки карликовой галактики в Стрельце Sgr DEG, и их происхождение неясно.

Между тем стоит упомянуть о трех гигантах типа FBS СН среди 127 С-звезд FBS, для которых в каталоге Bailer-Jones даны расстояния более 13 кпк от Солнца. Это FBS 1629+156 ($r = 13.04$ кпк), FBS 1811+462 ($r = 14.133$ кпк, $RV = -164.8$ км/с) и FBS 1454+792 ($r = 13.487$ кпк, $RV = -217.9$ км/с). Согласно рис.15 [27], звезды FBS 1454+792 и FBS 1811+462 могут происходить от ведущей ветви Sgr DEG. Для FBS 1629+156 в Gaia DR2 нет данных о RV . CSS кривая блеска объекта FBS 1811+462 типична для RS CVn переменных звезд. В базе данных NSVS (Northern Sky Variability Survey, <http://skydot.lanl.gov/>) объект FBS 1629+156 также можно классифицировать как переменную типа RS CVn с амплитудой $\Delta m \approx 0^m.4$. В базе данных CSS этот объект не проявляет значительной переменности. Что касается объекта FBS 1454+792, то он находится вне поля обзора CSS и в базе данных NSVS не показывает переменность.

Отметим также, что многосторонние исследования, основанные на Gaia DR2 для гигантов и карликов класса M из "Второго пересмотренного и обновленного каталога FBS LTS", продолжаются и будут представлены для публикации в ближайшее время.

Автор выражает благодарность К.Гигояну за полезные замечания и комментарии, а также рецензенту за полезные замечания. В этой работе представлены результаты космического проекта Gaia Европейского Косми-

ческого Агентства (ESA). Данные Gaia обрабатываются с DPAC (Gaia Data Processing and Analysis Consortium). В этом исследовании использовалась база данных SIMBAD, CDS, Страсбург, Франция.

Эта работа поддержана грантом ANSEF astroex-5153.

Бюраканская астрофизическая обсерватория им. В.А.Амбарцумяна,
Армения, e-mail: kgayane@gmail.com

INVESTIGATION OF FAINT GALACTIC CARBON STARS FROM THE FIRST BYURAKAN SPECTRAL SKY SURVEY. IV. GAIA DR2 DATA

G.R.KOSTANDYAN

The second Gaia data release data (Gaia DR2) are used to analyze and estimate some important parameters for 127 carbon (C) type stars (56 are late N type Asymptotic Giant Branch (AGB) C stars, and 71 are early type CH giants) detected on the First Byurakan Survey (FBS) low resolution spectral plates. Gaia DR2 broadband G magnitudes are in the range $9.4 < G < 18.2$ mag for FBS C stars. Radial velocities RV are available for 75 C-stars out of 127. For 9 objects, RV values are greater than 200 km/s. V band absolute magnitudes are estimated for 18 FBS C-stars having luminosity data, of which 17 are CH giants. They are in the range $-3.4 \leq M_V \leq +0.5$ mag. For FBS 1918+869, absolute magnitude $M_V = -3.4 \pm 0.2$ mag, which is typical for N type AGB C-stars. Having distance estimates, the Hertzsprung-Russell Diagram (HRD, or color-absolute magnitude diagram) was constructed for 127 C-stars. All detected FBS C-stars are giants and AGB stars in the Galactic Halo. They are not further than 14 kpc from the Sun and 8 kpc from the Galactic plane.

Keywords: *carbon stars: surveys: late type stars*

ЛИТЕРАТУРА

1. B.E.Markarian, V.A.Lipovetski, J.A.Stepanian *et al.*, Commun. Special Astrophys. Obs., **62**, 5, 1989.
2. K.S.Gigoyan, A.M.Mickaelian, Mon. Not. Roy. Astron. Soc., **419**, 3346, 2012.

3. *A.M.Mickaelian, R.Nesci, C.Rossi et al.*, *Astron. Astrophys.*, **464**, 1177, 2007.
4. *K.S.Gigoyan, D.Russeil, A.M.Mickaelian et al.*, *Astron. Astrophys.*, **544**, A95, 2012.
5. *K.S.Gigoyan, A.M.Mickaelian, G.R.Kostandyan*, *Mon. Not. Roy. Astron. Soc.*, **489**, 2030, 2019.
6. *K.Gigoyan, N.Mauron, M.Azzopardi et al.*, *Astron. Astrophys.*, **371**, 560, 2001.
7. *N.Mauron, K.S.Gigoyan, T.R.Kendall*, *Astron. Astrophys.*, **463**, 969, 2007.
8. *N.Mauron*, *Astron. Astrophys.*, **482**, 151, 2008.
9. *K.S.Gigoyan, D.Engels, N.Mauron et al.*, *Astrophysics*, **51**, 209, 2008.
10. *K.S.Gigoyan, D.Russeil, A.M.Mickaelian et al.*, *Astron. Astrophys.*, **544**, A95, 2012.
11. *G.Kostandyan, K.S.Gigoyan, A.Sarkissian et al.*, *Astrophysics*, **60**, 300, 2017.
12. *K.S.Gigoyan, A.Sarkissian, D.Russeil et al.*, *Astrophysics*, **57**, 510, 2014.
13. *K.S.Gigoyan, A.Sarkissian, D.Russeil et al.*, *Astrophysics*, **58**, 319, 2015.
14. *K.S.Gigoyan, A.Sarkissian, C.Rossi et al.*, *Astrophysics*, **60**, 70, 2017.
15. Gaia Collaboration, *A.G.A.Brown, A.Vallenari, T.Prusti et al.*, *Astron. Astrophys.*, **616**, A1, 2018.
16. *C.A.L.Bailer-Jones, J.Rybizki, M.Fouesneau et al.*, *Astron. J.*, **156**, 58, 2018.
17. Gaia Collaboration, *R.Andrae, M.Fouesneau, O.Creeveey et al.*, *Astron. Astrophys.*, **616**, A8, 2018.
18. Gaia Collaboration, *L.Eyer, L.Rimoldini et al.*, *Astron. Astrophys.*, **623**, A110, 2019.
19. *M.F.Skrutskie et al.*, *Astron. J.*, **131**, 1163, 2006.
20. Gaia Collaboration, *C.Babusiaux, F. van Leeuwen, M.A.Barstow et al.* *Astron. Astrophys.*, **616**, A10, 2018.
21. *C.Du, H.Lei, S.Liu et al.*, *Astrophys. J.*, **863**, 37, 2018.
22. *Yin-Bi Li, A-Li Luo, Gang Zhao et al.*, *Astron. J.*, **156**, 87, 2018.
23. *P.Massey, S.E.Levine, K.F.Neugent et al.*, *Astron. J.*, **156**, 265, 2018.
24. *B.C.Bromley, S.J.Kenyon, W.R.Brown et al.*, *Astrophys. J.*, **868**, 25, 2018.
25. *A.J.Drake, M.J.Graham, S.G.Djorgovski et al.*, *Astrophys. J., Suppl. Ser.*, **213**, 9, 2014.
26. *A.J.Drake, S.G.Djorgovski, M.Catelan et al.*, *Mon. Not. Roy. Astron. Soc.*, **469**, 3688, 2017.
27. *A.P.Huxor, E.K.Grebel*, *Mon. Not. Roy. Astron. Soc.*, **453**, 2653, 2015.