

УДК 524.62-32

С. П. Рыбка, **А. И. Яценко**

Главная астрономическая обсерватория Национальной академии наук Украины
03680 Киев, ул. Академика Заболотного 27
yatsenko@mao.kiev.ua

Звезды-кандидаты «красного сгущения» в каталоге PRMX

Представлен каталог RCGP, содержащий более 0.5 миллиона звезд-кандидатов «красного сгущения» до $K_s = 9.5^m$. Они были выделены как наиболее вероятные члены «красного сгущения» из каталога PRMX в результате анализа инфракрасных диаграмм «цвет — приведенное собственное движение», построенных по собственным движениям PRMX и J, K_s -фотометрии 2MASS. По покраснению отобранных звезд найдено и учтено поглощение света в полосе K_s . На основе обобщенной Огородниковым плоской модели вращения Галактики рассмотрено поле тангенциальных скоростей выделенных членов «красного сгущения», находящихся в пределах 1.5 кпк от Солнца и преимущественно принадлежащих тонкому диску. Приводятся результаты определения кинематических параметров и составляющих движения Солнца в зависимости от высоты звезд над плоскостью галактического экватора и гелиоцентрического расстояния до них.

ЗОРИ-КАНДИДАТИ «ЧЕРВОНОГО ЗГУЩЕННЯ» В КАТАЛОЗІ PRMX, Рыбка С. П., Яценко А. І. — Представлено каталог RCGP, який містить понад 0.5 мільйона зір-кандидатів «червоного згущення» до $K_s = 9.5^m$. Вони були виділені як найбільш ймовірні члени «червоного згущення» з каталогу PRMX в результаті аналізу інфрачервоних діаграм «колір — приведений власний рух», побудованих за власними рухами PRMX та J, K_s -фотометрією 2MASS. За почервонінням відібраних зір знайдено та враховано поглинання світла у смузі K_s . На основі узагальненої Огородніковим плоскої моделі обертання Галактики вивчено поле тангенціальних швидкостей виділених членів «червоного згущення», що перебувають в межах 1.5 кпк від Сонця і переважно належать тонкому диску. Наводяться результати визначення кінематичних параметрів та складових руху Сонця залежно від

висоти зір над площиною галактичного екватора та геліоцентричної відстані до них.

CANDIDATE RED CLUMP GIANTS IN THE PPMX CATALOGUE, by Rybka S. P., Yatsenko A. I. — We present the RCGP catalogue of more than 0.5 million candidate Red Clump giants brighter than $K_s = 9.5^m$. These stars were selected from the PPMX catalogue as the most probable Red Clump members on color-reduced proper motion diagrams constructed from PPMX proper motions and 2MASS J,Ks-photometry. Based on the reddening of extracted stars, K_s -band extinction was determined and taken into account. Using the two-dimensional galactic rotation model generalised by Ogorodnikov, the tangential velocity field of the selected Red Clump members (most of them are thin disk stars) was investigated within 1.5 kpc from the Sun. The values of kinematic parameters and solar components were determined as a function of stellar heights above galactic equatorial plane and of heliocentric distances.

ВВЕДЕНИЕ

Гиганты «красного сгущения» (КС) являются удобными объектами для исследования кинематики и структуры Галактики. Это объясняется тем, что по наблюдаемым характеристикам звезд указанного типа (видимая звездная величина, цвет, собственные движения) можно определить их светимости (абсолютные звездные величины), пространственное распределение и тангенциальные скорости.

К настоящему времени составлены и размещены в Страсбургском центре звездных данных CDS два списка звезд-кандидатов КС [1, 4], выбранных из каталога «Tycho-2» в результате анализа диаграмм «цвет — приведенное собственное движение» (CRPM). Однако есть существенное различие в методиках отбора звезд КС: с этой целью в [4] использовалась инфракрасная J , K_s -фотометрия 2MASS, тогда как в [1] — оптическая B_T , V_T -фотометрия «Tycho-2». Необходимо заметить, что применение ближнего инфракрасного диапазона излучения по сравнению с оптическим повышает эффективность выделения гигантов КС и существенно ослабляет влияние межзвездного поглощения света на фотометрические характеристики звезд. Так, на оптических CRPM-диаграммах сгущение достаточно размыто и плохо отделяется от звезд ветви красных гигантов (ВКГ). Вероятно поэтому составленная Гончаровым выборка кандидатов КС [1] содержит около 10 % посторонних звезд, преобладающее большинство которых можно отнести к гигантам ВКГ, судя по их не искаженным покраснением показателям цвета $(J - K_s)_0 > 0.75^m$.

Поскольку каталог «Tycho-2» ограничен по видимой звездной величине, звезды-кандидаты КС [1, 4] выделены преимущественно до $K_s = 8.5^m$ ($V \sim 11^m$) и находятся ближе одного килопарсека от Солнца.

Чтобы изучить кинематику более далеких звезд, мы расширили выборку звезд КС [4] до $K_s = 9.5^m$, используя каталог PPMX [11]. Он содержит на всем небе более 18 миллионов звезд с астрометрической и фотометрической информацией до 15.2^m в системе GSC. Собственные движения каталога PPMX получены в системе ICRS с точностью, зависящей от блеска звезд, причем для красных звезд ($K_s = 9.5^m$) они определены с наилучшей точностью (1—3 мсд/год). Средняя ошибка собственных движений в такой выборке составляет 2 мсд/год, что соответствует ошибке скоростей звезд около 10 км/с на расстоянии 1 кпк от Солнца.

ОТБОР КАНДИДАТОВ КС ИЗ КАТАЛОГА PPMX

Для идентификации гигантов КС использовались диаграммы «цвет $J - K_s$ — приведенное собственное движение H_K », полученные по собственным движениям каталога PPMX и фотометрическим данным каталога 2MASS [12] для отдельных, как правило одноградусных зон первого каталога по галактической широте. Вблизи экваториальной плоскости Галактики такие зоны разделялись на участки по галактической долготе, чтобы учесть неоднородность поглощения. Соседние зоны для высоких и средних широт объединялись, чтобы получить достаточное число звезд (~10000). При этом рассматривались звезды в диапазоне K_s от 5^m до 9.5^m , собственные движения и звездные величины J, K_s которых определены с точностью лучше 5 мсд/год и 0.10^m соответственно. Приведенные собственные движения H_K вычислялись по формуле

$$H_K = K_s \cdot 5 \cdot 5 \lg ,$$

где H_K — полное собственное движение, исправленное за вращение Галактики с использованием общепринятых значений постоянных Оорта: $A = +15$, $B = -12$ км с⁻¹кпк⁻¹. На рисунке показаны примеры CRPM-диаграмм, построенных для двух типичных областей с заметным (а) и низким поглощением в полосе K_s (б). На обеих диаграммах хорошо видны образования с повышенной плотностью точек (сгущения), которые соответствуют расположению гигантов КС. Так как выбранные области отличаются по влиянию поглощения света на фотометрические характеристики звезд, то в условиях заметного поглощения (а) сгущение больше по размеру и смещено покраснением звезд по оси $J - K_s$.

Основной задачей, возникающей при идентификации гигантов КС, является установление границ области на CRPM-диаграмме, где сосредоточено их преобладающее большинство, а примесь звезд других типов минимальна. Слева от сгущения хорошо заметна граница, отделяющая его от звезд, расположенных в верхней части главной последовательности. При низком поглощении ее положение по оси

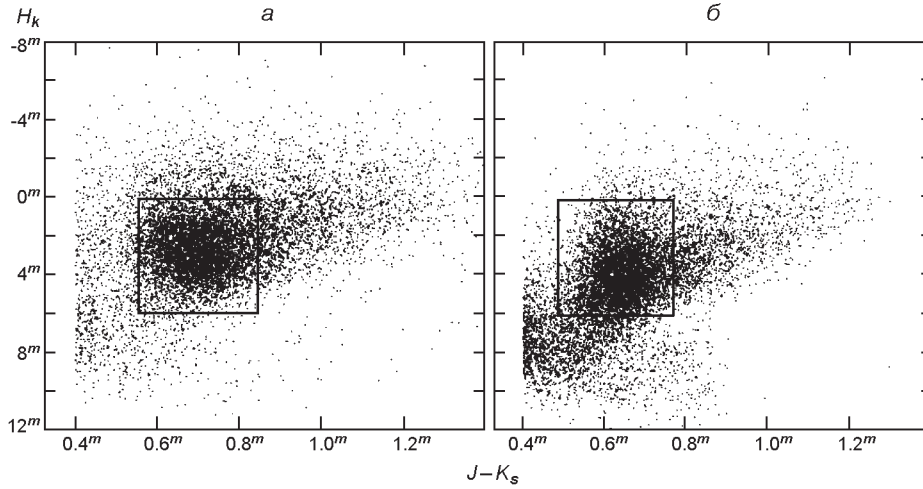


Диаграмма «показатель цвета — приведенное собственное движение» для двух галактических полей: *а* — с заметным поглощением ($0 < b < 1$), *б* — с низким поглощением ($52 < b < 57$). Области расположения звезд-кандидатов «красного сгущения» выделены прямоугольниками

$J - K_s$ составляет 0.5^m , а при значительном — смещается в сторону больших показателей цвета и может быть определено на основе учета покраснения звезд в рамках известных моделей поглощения. Здесь с этой целью применялась модель Арену и др. [6]. Верхняя и нижняя границы области, занимаемой гигантами КС, также достаточно заметны: первая разделяет эти звезды и сверхгиганты, а вторая отсекает большинство карликов поздних спектральных классов. Положения верхней и нижней границ на диаграммах практически не зависят от поглощения и галактической широты, составляя $H_K = 0^m$ и $H_K = 6^m$ соответственно. Что касается границы между звездами сгущения и ветви гигантов, то она менее отчетлива, и для разделения этих звезд применялась следующая методика.

Мы предположили, что функция распределения звезд по показателям цвета $J - K_s$ при $0^m < H_K < 6^m$ и $J - K_s > 0.5^m$ (или другое измененное покраснением звезд значение) может быть представлена в каждой из широтных зон суммой двух гауссовых функций с различными параметрами:

$$F(CI) = F_{RC}(CI) + F_{GB}(CI).$$

Здесь CI — показатель цвета $J - K_s$, обозначения RC и GB относятся к звездам «красного сгущения» и ВКГ, а функции $F_{RC}(CI)$ и $F_{GB}(CI)$ имеют вид

$$F_{RC}(CI) = [N_{RC} / (\sigma_{RC} \sqrt{2\pi})] \exp[-0.5(CI - CI_{RC})^2 / \sigma_{RC}^2],$$

$$F_{GB}(CI) = [N_{GB} / (\sigma_{GB} \sqrt{2\pi})] \exp[-0.5(CI - CI_{GB})^2 / \sigma_{GB}^2],$$

Таблица 1. Оценки параметров распределений кандидатов сгущения и ветви гигантов по показателям цвета $J - K_s$ для различных зон широты b

b , град	N_{RC}/N	CI_{RC}	${}_{RC}^2$	CI_{GB}	${}_{GB}^2$
-90...-74	0.78	0.65 ^m	0.07 ^m	0.84 ^m	0.13 ^m
-74...-67	0.78	0.65	0.07	0.84	0.14
-41...-39	0.75	0.67	0.07	0.89	0.14
-29...-28	0.73	0.69	0.08	0.91	0.14
-21...-20	0.68	0.69	0.07	0.93	0.14
-15...-14	0.66	0.71	0.08	0.95	0.14
-9...-8	0.63	0.74	0.07	0.99	0.14
-7...-6	0.70	0.76	0.06	1.01	0.14
-5...-4	0.67	0.78	0.06	1.05	0.13
-3...-2	0.71	0.80	0.07	1.05	0.14
-1...-0	0.67	0.80	0.07	1.05	0.14
+0...+1	0.71	0.80	0.07	1.04	0.15
+2...+3	0.68	0.79	0.08	1.02	0.14
+4...+5	0.70	0.76	0.08	1.02	0.15
+6...+7	0.69	0.74	0.08	1.00	0.15
+8...+9	0.67	0.73	0.08	0.98	0.14
+14...+15	0.68	0.70	0.08	0.94	0.14
+20...+21	0.67	0.68	0.08	0.92	0.14
+28...+29	0.73	0.68	0.08	0.90	0.15
+39...+41	0.74	0.67	0.07	0.88	0.14
+67...+74	0.77	0.64	0.07	0.83	0.13
+74...+90	0.78	0.64	0.07	0.83	0.13

Примечание: N, N_{RC} — количество всех исследуемых звезд и кандидатов КС

где N_{RC}, N_{GB} — количество звезд «красного сгущения» и ВКГ, причем их общее количество $N = N_{RC} + N_{GB}$; CI_{RC}, CI_{GB} — средние значения, а ${}_{RC}^2, {}_{GB}^2$ — дисперсии показателей цвета первого и второго компонента соответственно.

Значения пяти неизвестных параметров $CI_{RC}, CI_{GB}, {}_{RC}^2, {}_{GB}^2, N_{RC}$ находились методом максимального правдоподобия. После определения параметров оценивалась вероятность принадлежности каждой звезды «красному сгущению» по формуле

$$P = F_{RC}(CI) / [F_{RC}(CI) + F_{GB}(CI)].$$

Звезды, для которых оценки вероятности P превышали 0.67, были отнесены к кандидатам КС. В табл. 1 представлены в качестве примера оценки параметров $CI_{RC}, {}_{RC}^2, CI_{GB}, {}_{GB}^2, N_{RC}/N$, которые найдены для 22 различных широтных зон. Как и следовало ожидать, наблюдается заметное увеличение средних значений показателей цвета гигантов КС (CI_{RC}) и ВКГ (CI_{GB}) вблизи плоскости галактического экватора, что обусловлено межзвездным поглощением света. Среднее значение нормального показателя цвета гигантов КС $(J - K_s)_0$ надежно определено, поэтому по покраснению отобранных звезд КС можно получить оценки поглощения света АК в полосе K_s . Об определении поглощения см. ниже. Заметим, что общее распределение звезд КС и

ВКГ по $J - K_s$ хорошо представляется двумя гауссовыми кривыми, положения максимумов которых различаются на $0.2^m - 0.25^m$ (см. табл. 1). Такое различие близко к средней разности нормальных показателей цвета гигантов КС (0.62^m) и ВКГ (0.90^m), чем подтверждается правильность проведенного разделения этих звезд.

В итоге из 1.4 миллиона звезд каталога РРМХ до $K_s = 9.5^m$ с хорошим качеством кинематических и фотометрических данных отобрано более 0.5 миллиона кандидатов КС с полнотой до $K_s = 9.4^m$. Выделенные звезды включены в каталог, названный RCGP (Red Clump Giants РРМХ). Точность собственных движений в каталоге зависит от блеска звезд и составляет в среднем 2.2 мсд/год.

Чтобы проверить эффективность выделения гигантов КС, проведено отождествление полученной выборки звезд в каталоге «Tycho Spectral Types» [13], составленном Райтом и др. Отождествлено 31528 звезд RCGP, имеющих спектральную классификацию в системе МК. Среди них: гигантов классов G5III—K3III (КС) — 26382 (83.7 %), гигантов K3III—MIII (ВКГ) — 197 (0.6 %), карликов GV—MV — 983 (3.1 %), субгигантов GIV—KIV — 2983 (9.5 %), сверхгигантов — 801 (2.5 %), других классов — 182 (0.6 %). Приведенные данные свидетельствуют о достаточно высокой эффективности изложенного выше метода отбора гигантов КС.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАССТОЯНИЙ И ПОГЛОЩЕНИЯ СВЕТА

Значения поглощения света $A_K(r, b)$ в направлении галактической широты b до расстояния r были найдены по формуле Паренаго [2]:

$$A_K(r, b) = a_0 / |\sin b| [1 - \exp(-r |\sin b|)], \quad (1)$$

где a_0 — полутолщина однородного слоя поглощающей материи, принятая равной 90 пк по данным [10], a_0 — поглощение на единицу длины в экваториальной плоскости Галактики. Здесь r вычислено без учета поглощения на основании звездных величин K_s и недавно полученной калибровки абсолютных звездных величин гигантов КС $M_K = -1.54 \pm 0.04^m$ [10]. Значение параметра a_0 предварительно определялось для отдельных широтных зон (вблизи экваториальной плоскости разделенных еще и на долготные участки) из соотношения

$$a_0 = A_K(r_0, b) / A_K(r_0, b),$$

где величина $A_K(r_0, b)$ вычислялась по формуле (1) для среднего расстояния r_0 и $a_0 = 1$, а $A_K(r_0, b) = E(J - K_s) / 1.52$ [10]. Величины избытков цвета $E(J - K_s)$ получены как средние для отдельных широтных зон разности между наблюдаемыми ($J - K_s$) и неискаженными покраснением показателями цвета ($J - K_s$)₀. При этом использована средняя оценка $(J - K_s)_0 = 0.64 \pm 0.01^m$, найденная по совокупности наблюдаемых показателей цвета при $|b| > 45^\circ$, где поглощение минимально.

Сравнение полученных нами значений поглощения и вычисленных по модели Арену и др. [6] показало их удовлетворительное согласие. В целом оценки Арену и др. завышены по сравнению с нашими примерно в 1.3 раза, что подтверждает выводы, сделанные в работе [10].

После определения поглощения до всех выделенных звезд были найдены расстояния по формуле

$$\lg r = 0.2(K_s - M_K - A_K) + 1.$$

Относительная точность полученных расстояний в основном определяется разбросом абсолютных звездных величин гигантов КС в полосе K_s (0.3^m) и составляет около 15 %. Возможная неопределенность принятого значения среднего нормального показателя цвета гигантов КС около 0.1^m дает ошибку поглощения 0.07^m , вследствие чего ошибка расстояния возрастет примерно на 3 %.

Мы проанализировали распределение выделенных кандидатов КС по высоте над экваториальной плоскостью Галактики, т. е. по координате z . Предполагалось, что убывание звездной плотности такого распределения $D(z)$ с увеличением $|z|$ может быть представлено барометрическим законом [2] в виде

$$D(z) = D_1(0)\exp(-|z - z_0|/h_1) + D_2(0)\exp(-|z - z_0|/h_2), \quad (2)$$

где $D_1(0)$, $D_2(0)$ — плотность звезд тонкого и толстого дисков в экваториальной плоскости, h_1 , h_2 — вертикальный масштаб этих составляющих, а z_0 — возвышение Солнца над экваториальной плоскостью. Оценки $D_1(0)$, $D_2(0)$ найдены методом наименьших квадратов из решения уравнений (2), используя несколько вариантов значений параметров h_1 , h_2 , z_0 . В результате оказалось, что наилучшее соответствие наблюдаемого и теоретического распределения звезд достигается при $h_1 = 250$ пк, $h_2 = 800$ пк, $z_0 = 25$ пк, и в этом случае $D_1(0)/D_2(0) = 0.14$. Найденные величины параметров h_1 , h_2 и $D_1(0)/D_2(0)$ типичны для звезд тонкого и толстого дисков, а значение z_0 соответствует многим его оценкам. Таким образом, есть основания полагать, что выборка исследуемых гигантов КС включает звезды тонкого и толстого дисков.

КИНЕМАТИКА ГИГАНТОВ КС

В последнее время стало ясным, что кинематика околосолнечных звезд не может быть адекватно описана моделью вращения Галактики, разработанной Оортом. В результате применения современных высокоточных наблюдательных данных для определения кинематических параметров более сложной модели Огородникова — Милна обнаружены особенности звездных движений в окрестности Солнца. Многие исследователи [5] показали, что в движении определенных групп околосолнечных звезд имеются заметные систематические составляющие

щие, обусловленные не только галактическим вращением и перемещением Солнца в пространстве, но и другими факторами. К числу последних относится сжатие звездной системы и несовпадение направлений на кинематический и галактический центр (фазовый сдвиг). Кинематические особенности как проявление эффектов сжатия и/или фазового сдвига свойственны классическим цефеидам, О—В-звездам высокой светимости, гигантам спектральных классов АО—А5 и В—А-звездам главной последовательности. Такие особенности движения выявлены также и у гигантов КС, что показано в работе [5] на основе статистически достоверных результатов определения параметров сжатия $K = -6.3 \pm 1.1 \text{ км с}^{-1} \text{ кпк}^{-1}$ и фазового сдвига $= 6.9 \pm 0.6$ в рамках модели Огородникова — Милна. Значения этих параметров получены в результате анализа тангенциальных скоростей 30000 звезд-кандидатов КС из каталога RCGT [4] для галактических широт $|b| < 30$. Возросший почти на порядок объем данных для кандидатов КС в новом каталоге RCGP позволяет уточнить оценки указанных параметров и проследить их изменение в зависимости от гелиоцентрического расстояния и высоты звезд над плоскостью галактического экватора.

Кинематический анализ выполнялся на основе плоской модели вращения Галактики, разработанной Огородниковым [3] для описания произвольного движения звезд. В этом случае по тангенциальным скоростям звезд определяются три составляющие скорости Солнца u_0, v_0, w_0 относительно центроида исследуемых звезд и четыре кинематических параметра A, B, K, C :

$$kr_l \cos b \quad u_0 \sin l \quad v_0 \cos l \quad r \cos b (B \quad A \cos 2l \quad C \sin 2l), \quad (3)$$

$$kr_b \quad u_0 \cos l \sin b \quad v_0 \sin l \sin b \quad w_0 \cos b \\ 0.5r \sin 2b (A \sin 2l \quad C \cos 2l \quad K), \quad (4)$$

где $l \cos b$ и l_b — компоненты собственных движений по галактической долготе l и широте b , k — переходной множитель, соответствующий измерению собственных движений в секундах дуги в год, скоростей — в км/с, расстояний r — в парсеках, A и B — постоянные Оорта, K — параметр, описывающий эффект расширения или сжатия системы звезд, C — параметр деформации. При этом используется прямоугольная галактическая система координат с осями, направленными от наблюдателя к центру Галактики, в сторону галактического вращения и к северному полюсу Галактики. Вместо параметров K и C можно рассматривать другие параметры, имеющие более четкую физическую интерпретацию: скорость Kr_s расширения или сжатия системы звезд на их среднем расстоянии r_s от Солнца и отклонение направления на центр вращения от направления на центр Галактики (фазовый сдвиг), которое вычисляется из соотношения $= 0.5 \arctg(-C/A)$.

Для кинематического анализа была сформирована однородная и полная выборка гигантов КС, преобладающее большинство которых

Таблица 2. Характеристики выборки гигантов КС

Группа	Количество звезд	$ z $, кпк	r , кпк	r_s , кпк
Ia	216159	< 0.25	> 0.5	0.9
Ib	141935	< 0.25	> 0.8	1.1
Ic	88475	< 0.25	> 1.0	1.2
IIa	136406	0.25...0.50	> 0.5	1.0
IIb	103512	0.25...0.50	> 0.8	1.2
IIc	59350	0.25...0.50	> 1.1	1.3
IIIa	63651	0.50...0.75	> 0.5	1.1
IIIb	48166	0.50...0.75	> 0.9	1.2
IIIc	33803	0.50...0.75	> 1.1	1.3

Таблица 3. Компоненты скорости Солнца u_0 , v_0 , w_0 , кинематические параметры B , A , Kr_s , и их средние квадратичные ошибки, найденные для различных групп гигантов КС

Группа звезд	u_0 , км/с	v_0 , км/с	w_0 , км/с	B , км с ⁻¹ кпк ⁻¹	A , км с ⁻¹ кпк ⁻¹	Kr_s , км/с	, град
Ia	7.7±0.1	20.4±0.2	7.6±0.1	-11.8±0.1	12.2±0.1	-3.3±0.4	4.4±0.2
Ib	7.8±0.1	20.9±0.1	7.8±0.1	-11.6±0.1	11.9±0.1	-3.3±0.6	3.8±0.3
Ic	7.9±0.2	20.9±0.2	8.0±0.1	-11.5±0.1	11.6±0.1	-3.6±0.8	3.3±0.3
IIa	8.4±0.1	24.2±0.1	9.1±0.1	-11.7±0.1	11.3±0.1	-1.5±0.3	3.7±0.3
IIb	8.3±0.1	24.3±0.2	9.2±0.1	-11.6±0.1	11.2±0.1	-1.4±0.4	3.5±0.3
IIc	8.3±0.2	24.1±0.2	9.2±0.2	-11.4±0.1	11.0±0.2	-1.0±0.5	3.3±0.4
IIIa	9.5±0.2	28.8±0.2	9.9±0.2	-11.2±0.2	9.5±0.2	-1.5±0.4	4.6±0.6
IIIb	9.5±0.2	28.9±0.2	9.4±0.2	-11.3±0.2	9.5±0.2	-1.8±0.4	4.7±0.6
IIIc	9.3±0.3	28.7±0.3	9.9±0.2	-11.3±0.2	9.2±0.2	-1.4±0.5	4.5±0.7

принадлежит тонкому диску и находится в пределах 1.5 кпк от Солнца. С этой целью применялись следующие ограничения: $K_s < 9.4^m$ (полнота каталога RCGP), $|V_{l,b}| < 110$ км/с, $|z| < 0.75$ кпк. Ограничение на тангенциальные скорости $V_{l,b}$ значительно сокращает примесь карликов поздних спектральных классов в составе выделенных звезд, так как вследствие неправильной классификации они имеют сильно переоцененные расстояния, а значит и скорости. При ограничении высот $|z| < 0.75$ кпк доминирует население тонкого диска и маловероятно, что незначительная доля находящихся здесь звезд толстого диска может существенно повлиять на результаты кинематического анализа, тем более что ограничение по скорости также способствует исключению звезд толстого диска. В итоге для обработки осталось около 420000 звезд, которые были разделены на девять групп в зависимости от расстояния r и высоты $|z|$ (см. табл. 2).

Значения семи неизвестных u_0 , v_0 , w_0 , A , B , K , C находились способом наименьших квадратов из совместного решения уравнений (3) и (4), составленных для каждой из девяти образованных групп звезд. Результаты представлены в табл. 3, где вместо K и C даны

значения Kr_s и δ . Следует отметить, что коэффициенты корреляции между различными неизвестными оказались несущественными во всех вариантах решений.

Рассмотрим результаты определения составляющих пекулярной скорости Солнца относительно девяти групп звезд (или с противоположным знаком составляющих средней скорости звездных групп относительно Солнца). Как видно, значения u_0 и w_0 почти не зависят от высоты и расстояния звезд. Они мало отличаются от оценок $u_0 = 10.0 \pm 0.4$ и $w_0 = 7.2 \pm 0.4$ км/с [7], полученных относительно местного стандарта покоя (МСП). Это может означать, что средние скорости движения звезд КС в направлении центра Галактики ($-u_0$) и северного полюса Галактики ($-w_0$) являются лишь отражением движения Солнца относительно МСП в этих направлениях. Напротив, величины компоненты v_0 значительно отклоняются от $v_0 = 5.3 \pm 0.6$ км/с [7] и заметно зависят от $|z|$. Это вызвано асимметричным дрейфом — увеличением скорости отставания в галактическом вращении от МСП с удалением звезд от плоскости галактического экватора, что установлено во многих исследованиях. В настоящее время остается актуальным лишь определение скорости отставания звезд тонкого диска от МСП для разных высот. Например, в работе [9] на основе недавнего исследования кинематики 2 млн карликов спектрального класса М, отобранных из каталога SDSS и преимущественно принадлежащих тонкому диску, получены значения $-v_0 = -20.04 \pm 0.14$ км/с и $-v_0 = -32.18 \pm 0.14$ км/с для $z = 0.75$ кпк вблизи плоскости галактического экватора. Найденные нами значения $-v_0 = -20.4 \pm 0.2$ км/с и $-v_0 = -28.8 \pm 0.2$ км/с (см. табл. 3, группы звезд Ia и IIIa) вполне соответствуют результатам [9].

Перейдем к обсуждению результатов определения кинематических параметров. Постоянные Оорта B и A лучше всего определяются по тангенциальным скоростям звезд вблизи плоскости галактического экватора, составляя $B = -11.8 \pm 0.1$ и $A = 12.2 \pm 0.1$ км с⁻¹кпк⁻¹ (см. табл. 3, группа Ia). Эти значения близки к значениям $B = -12.4 \pm 0.6$, $A = 14.8 \pm 0.8$ км с⁻¹кпк⁻¹, полученным в работе [8] по собственным движениям цефеид из каталога HIPPARCOS. По данным табл. 3 видно, что во всех вариантах решений кроме значений составляющих скорости Солнца и постоянных Оорта оказались статистически достоверными также значения скорости сжатия Kr_s и фазового сдвига δ . Величины скорости сжатия практически не зависят от гелиоцентрического расстояния, однако наблюдается их заметная зависимость от высоты звезд над плоскостью Галактики. Так, вблизи плоскости Галактики ($|z| < 0.25$) скорость сжатия составляет $Kr_s = -3.3 \pm 0.4$ км/с, тогда как на больших высотах ($0.25 < |z| < 0.75$ кпк) — $Kr_s = -1.5 \pm 0.3$ км/с. Тем самым подтверждаются и уточняются результаты определения скорости сжатия, полученные нами в работе [5] по тангенциальным скоростям гигантов КС ($r_s = 0.5$ кпк) для галактических широт $|b| < 30$ и $|b| > 30$: $Kr_s = -3.1 \pm 0.6$ км/с и $Kr_s = -0.4 \pm 0.5$ км/с соответственно. Величины фазового сдвига δ , представленные в табл. 3, не обнаружива-

Таблица 4. Значения основных полуосей эллипсов u , v , w и отклонения вертекса l_{uv} в зависимости от высоты гигантов КС над экваториальной плоскостью Галактики

$ z $, кпк	Количество звезд	u , км/с	v , км/с	w , км/с	l_{uv} , град
0...0.1	106538	30.7±0.1	25.3±0.1	20.6±0.1	8.7±0.8
0.1...0.2	104202	33.6±0.1	27.6±0.1	22.9±0.1	6.3±0.7
0.2...0.3	82739	36.4±0.1	29.3±0.1	26.0±0.1	2.5±0.7
0.3...0.4	60193	38.7±0.1	30.0±0.2	28.6±0.1	1.5±0.7
0.4...0.5	43656	40.4±0.1	31.6±0.2	30.7±0.2	1.7±0.8
0.5...0.7	52985	43.6±0.1	33.5±0.2	32.7±0.2	1.3±0.6
0.7...1.5	42368	46.9±0.1	38.1±0.2	36.0±0.3	0.1±0.6

ют заметной зависимости от расстояния и высоты звезд КС. Определенное по всей совокупности звезд среднее значение составляет 4.5 ± 0.4 и хорошо согласуется со значением 4.4 ± 1.0 , полученным для всех исследуемых звезд в работе [5]. Наблюдаемые в окрестности Солнца особенности звездных движений как проявление эффектов сжатия звездной системы и фазового сдвига связывают с влиянием спиральных волн плотности и возмущением со стороны бара Галактики. Однако окончательных выводов об их происхождении еще не получено.

Остаточные уклонения l , b , полученные после решения уравнений (3) и (4), использовались для определения параметров эллипсоида пекулярных скоростей гигантов КС по методике, изложенной в книге К. Ф. Огородникова [3]. Предварительно совокупность исследуемых звезд была разделена на семь групп по высоте, чтобы тем самым проследить характер изменения параметров эллипсоида скоростей в зависимости от этого фактора. В табл. 4 представлены результаты определения основных полуосей эллипсоида скоростей u , v , w и отклонения вертекса l_{uv} для каждой из семи образованных групп. Видно, что значения u , v , w увеличиваются с удалением звезд от плоскости Галактики, а значения l_{uv} уменьшаются практически до нуля при $|z| > 0.7$ кпк. Это соответствует выводам многих работ по изучению кинематики звезд тонкого диска, однако наши результаты получены по гораздо большему числу звезд.

ВЫВОДЫ

В результате анализа собственных движений каталога PPMX и фотометрии каталога 2MASS из первого каталога отобрано более 0.5 млн кандидатов «красного сгущения» до $K = 9.5^m$. Используемая методика выделения звезд КС позволяет автоматизировать процесс их классификации, что важно при обработке массовых звездных данных. Астрометрический и фотометрический материал для отобранных звезд

содержатся в каталоге, названном RCGP. В этом каталоге приводятся экваториальные координаты и собственные движения в системе ICRS/J2000.0, скопированные из PPMX, звездные величины J , K_s из 2MASS и значения вероятности того, что звезды являются гигантами КС. По избытку цвета отобранных звезд получено и учтено межзвездное поглощение света в полосе K_s . Однородность, высокое качество и большой объем данных для звезд-кандидатов КС в каталоге RCGP позволили уверенно определить кинематические параметры обобщенной Огородниковым плоской модели вращения Галактики в зависимости от высоты звезд над плоскостью галактического экватора и гелиоцентрического расстояния до них.

1. Гончаров Г. А. Сгущение красных гигантов в каталоге Tycho-2 // Письма в Астрон. журн.—2008.—**34**, № 11.—С. 868—880.
2. Куликовский П. Г. Звездная астрономия. — М.: Физматгиз, 1985.—272 с.
3. Огородников К. Ф. Динамика звездных систем. — М.: Физматгиз, 1958.— 627 с.
4. Рыбка С. П. Каталог звезд-кандидатов Красного Сгущения в «Tycho-2» // Кинематика и физика небес. тел.—2007.—**23**, № 2.—С. 102—106.
5. Рыбка С. П. Особенности галактического вращения в окрестности Солнца по данным о гигантах «красного сгущения» // Кинематика и физика небес. тел.—2008.—**24**, № 3.—С. 137—145.
6. Arenou F., Grenon M., Gomez A. A tridimensional model of the galactic interstellar extinction // Astron. and Astrophys.—1992.—**258**, N 1.—P. 104—111.
7. Dehnen W., Binny J. Local stellar kinematics from HIPPARCOS data // Mon. Notic. Roy. Astron. Soc.—1998.—**298**, N 2.—P. 387—394.
8. Feast M. W., Whitelock P. A. Hipparcos parallaxes and proper motions of cepheids and their implications // Proc. of the ESA Symp. “Hipparcos Venice 97”/ Ed. by B. Battrock. — Noordwijk: ESA Publ., 1997.—P. 625—628.
9. Fuchs B., Dettbarn C., Rix H-W., et al. The kinematics of late type stars in the solar cylinder studied with SDSS data // Astron. J.—2009.—**137**, N 5.—P. 4149—4167.
10. Groenewegen M. A. T. The red clump absolute magnitude based on Hipparcos revised parallaxes // Astron. and Astrophys.—2008.—**488**, N 3.—P. 935—941.
11. Roeser S., Schilbach E., Schwan H., et al. PPM-Extended (PPMX) — a catalogue of positions and proper motions // Astron. and Astrophys.—2008.—**488**, N 1.—P. 401—408.
12. Skrutskie M. F, Cutri R. M., Stiening R. The Two Micron all sky Survey (2MASS) // Astron. J.—2006.—**131**, N 2.—P. 1163—1183.
13. Wright C. O., Egan M. P., Kraemer K. E., et al. The Tycho-2 Spectral Type Catalog // Astron. J.—2003.—**125**, N 1.—P. 359—363.

Поступила в редакцию 07.10.09