

УДК 524.423

ЗВЕЗДЫ ОБ В КАТАЛОГАХ Tycho-2 И 2MASS

© 2008 г. Г. А. Гончаров*

Главная астрономическая обсерватория РАН, Пулково

Поступила в редакцию 04.03.2007 г.

Собственные движения из каталога Tycho-2 и 5-полосная фотометрия из каталогов Tycho-2 и 2MASS для примерно 2.5 миллионов общих звезд использованы для отбора звезд ОБ, определения поглощения и фотометрического расстояния каждой из них. По положению на двухцветных диаграммах вида V_T-H , $J-K_s$ относительно начальной главной последовательности и теоретической линии покраснения звезд B5 отобраны 37 485 звезд и вычислено их покраснение. Тесты подтверждают принадлежность отобранных звезд спектральным классам O–B с небольшой примесью более поздних классов. По положению отобранных звезд на двухцветной диаграмме B_T-V_T , V_T-K_s вычислен коэффициент поглощения R и его вариации в зависимости от галактической долготы. Межзвездное поглощение для каждой звезды вычислено как произведение найденного покраснения и коэффициента R . Величина поглощения и его вариации с галактической долготой хорошо согласуются с поглощением по модели Арену и др. Калибровка связи абсолютной звездной величины и приведенного собственного движения $V_T - A_{V_T} + 5 + 5 \lg \mu$ для звезд каталога HIPPARCOS позволила вычислить абсолютные величины и фотометрические расстояния отобранных звезд. Найденные расстояния согласуются с расстояниями по параллаксам HIPPARCOS в пределах 500 пк. Распределение звезд и изменение поглощения в зависимости от найденного расстояния показывают, что отобранные звезды являются почти полной выборкой звезд спектральных классов более ранних, чем B5, в радиусе около 750 пк от Солнца. Выборка включает большое число заметно покрасневших звезд в первом и втором галактических квадрантах, не попавших в каталоги HIPPARCOS и Tycho Spectral Types. Это несколько меняет картину распределения звезд ОБ по сравнению с классической картиной по HIPPARCOS.

Ключевые слова: Галактика (Млечный Путь), спиральные рукава, классификация звезд, коэффициент поглощения.

OB STARS IN THE TYCHO-2 AND 2MASS CATALOGUES, by G. A. Gontcharov. The Tycho-2 proper motions and five-band Tycho-2 and 2MASS photometry for ~ 2.5 million common stars have been used to select OB stars and determine the extinction and photometric distance for each of them. We have selected 37 485 stars and calculated their reddenings based on their positions in the two-color V_T-H , $J-K_s$ diagrams relative to the zero-age main sequence and the theoretical reddening line for B5 stars. Tests confirm that the selected stars belong to the spectral types O–B with a small admixture of later types. We calculate the extinction coefficient R and its variations with Galactic longitude based on the positions of the selected stars in the two-color B_T-V_T , V_T-K_s diagram. The interstellar extinction for each star is calculated as the product of the reddening found and the coefficient R . The extinction and its variations with Galactic longitude agree well with the extinction based on the model by Arenou et al. (1992). Calibration of the relation between the absolute magnitude and the reduced proper motion $V_T - A_{V_T} + 5 + 5 \log \mu$ for HIPPARCOS stars has allowed us to calculate the absolute magnitudes and photometric distances for the selected stars. The distances found agree with those derived from the HIPPARCOS parallaxes within 500 pc. The distribution of the stars and the extinction variations with distance found show that the selected stars form an almost complete sample of stars with spectral types earlier than B5 within ~ 750 pc of the Sun. The sample includes many noticeably reddened stars in the first and second Galactic quadrants that have not fallen into the HIPPARCOS and Tycho Spectral Types catalogues. This slightly changes the pattern of the distribution of OB stars compared to the classical pattern based on HIPPARCOS.

PACS numbers : 97.20.-w; 97.10.Zr; 78.20.Ci

Key words: Galaxy (Milky Way), spiral arms, spectral classification, extinction coefficient.

* Электронный адрес: georgegontcharov@yahoo.com

ВВЕДЕНИЕ

Многоцветная фотометрия звезды теоретически позволяет определить межзвездное поглощение в направлении на звезду, светимость и фотометрическое расстояние, не зная тригонометрического параллакса и спектра (Страйжис, 1977). Характеристики звезды могут быть уточнены по собственному движению благодаря статистической связи собственного движения и расстояния до звезды (Паренаго, 1954, с. 86–87). Такой подход может позволить определить спиральную структуру и другие особенности строения Галактики по *полным* или почти полным выборкам звезд в больших объемах пространства по данным массовых фотометрических и астрометрических каталогов.

Для проверки этого метода наиболее подходят звезды спектральных классов О–В, так как непокрасневшие из них легко идентифицируются по отрицательным показателям цвета $B-V$ или близким к ним B_T-V_T . Кроме того, концентрация звезд ОВ к плоскости Галактики и заметное покраснение многих из них позволяют оценить межзвездное поглощение и сравнить его с теоретическим.

В данной работе отобраны предполагаемые звезды спектральных классов О–В, определено межзвездное поглощение в направлении на каждую из них и вычислены их наиболее вероятные фотометрические расстояния. Для этого использованы собственные движения из каталога Tycho-2 (Хег и др., 2000) и 5-полосная фотометрия (B_T, V_T, J, H, K_s) из каталогов Tycho-2 и 2MASS (Скрутские и др., 2006) для примерно 2.5 миллионов общих звезд.

ОТБОР ЗВЕЗД

Из свойств фотометрической системы $UBVRIGHK$, подробно описанных Страйжисом (1977, с. 135–140), следует, что линии покраснения на двухцветных диаграммах $B-J, J-K$ близки к прямым, заметно отклоняющимся от начальной главной последовательности (НГП), которая также близка к прямой. То есть такие двухцветные диаграммы удобны как для выделения звезд разных классов, так и для оценки их покраснения. Здесь вместо показателя цвета $B-J$ можно использовать любую другую пару фотометрических полос, находящихся в визуальной и инфракрасной областях спектра далеко друг от друга, а вместо показателя цвета $J-K$ — любую пару инфракрасных полос (хотя показатель цвета $H-K_s$ не слишком информативен). Надежно установленная связь величин B_T и V_T с величинами B и V (ЕКА, 1977, т. 1, с. 57–63) говорит о том, что рассматриваемые линии покраснения с достаточной точностью будут прямыми и при использовании B_T и V_T вместо B

Таблица 1. Теоретические коэффициенты наклона линий покраснения и эмпирические коэффициенты среднего наклона НГП для звезд классов О–К для рассматриваемых двухцветных диаграмм

Величина	Значение	Наклон НГП
$E_{(B_T-J)}/E_{(J-H)}$	10.1	5.4
$E_{(B_T-J)}/E_{(J-K_s)}$	6.4	4.6
$E_{(B_T-H)}/E_{(J-H)}$	11.2	6.4
$E_{(B_T-H)}/E_{(J-K_s)}$	7.1	5.4
$E_{(B_T-K_s)}/E_{(J-H)}$	11.8	6.6
$E_{(B_T-K_s)}/E_{(J-K_s)}$	7.5	5.6
$E_{(V_T-J)}/E_{(J-H)}$	7.0	3.3
$E_{(V_T-J)}/E_{(J-K_s)}$	4.4	2.8
$E_{(V_T-H)}/E_{(J-H)}$	8.0	4.3
$E_{(V_T-H)}/E_{(J-K_s)}$	5.1	3.6
$E_{(V_T-K_s)}/E_{(J-H)}$	8.6	4.5
$E_{(V_T-K_s)}/E_{(J-K_s)}$	5.5	3.8

и V (пересчет наблюдаемых величин B_T и V_T в величины B и V не рекомендован консорциумом HIPPARCOS (ЕКА, 1977, т. 1, с. 57), поэтому далее рассматриваются только B_T и V_T). Свойства всех использованных полос известны достаточно хорошо для того, чтобы вычислить по ним теоретические коэффициенты наклона рассматриваемых линий покраснения (т.е. отношения избытков цвета), они даны в табл. 1.

В правом столбце таблицы даны эмпирические коэффициенты среднего наклона НГП, вычисленные для 13 882 звезд класса светимости V спектральных классов О–К согласно спектральной классификации из входного каталога HIPPARCOS (HIPPARCOS Input Catalogue) (Турон и др., 1993). Эти звезды отобраны из каталога HIPPARCOS как звезды с наиболее точными данными: компоненты их собственного движения известны с точностью лучше $0.002''/\text{год}$, относительная точность параллакса менее 0.1, величины B_T и V_T известны с точностью лучше 0^m1 , звезды не отнесены к двойным и кратным, и известна их спектральная классификация. Они располагаются ближе 250 пк, поэтому их покраснение невелико.

Коэффициенты среднего наклона НГП, близкие к указанным в табл. 1, но с меньшей точностью из-за покраснения далеких звезд, получены для звезд каталога Tycho Spectral Types (TST) (Райт и др., 2003). Распределение 76 735 звезд TST класса светимости V разных спектральных классов, имеющих наиболее точные фотометрические данные

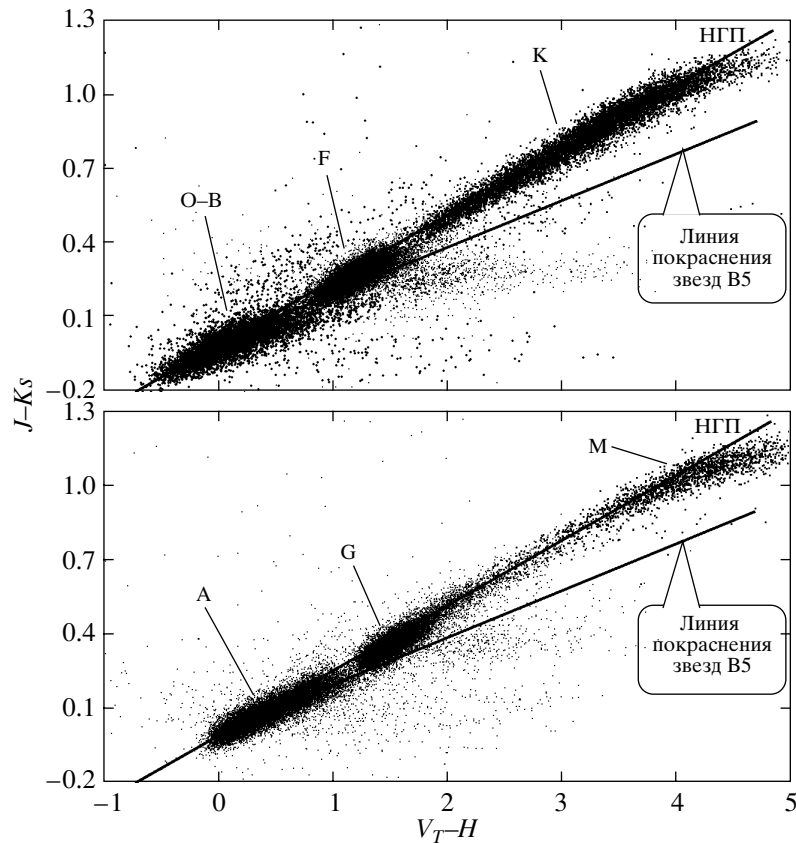


Рис. 1. Распределение звезд класса светимости V разных спектральных классов из каталога Tycho Spectral Types на двухцветной диаграмме V_T-H , $J-K_s$: (а) — 8499 звезд O-B, 24 624 звезды F, 9732 звезды K, (б) — 18 122 звезды A, 13 721 звезда G, 2037 звезд M.

в Tycho-2 и 2MASS, на двухцветной диаграмме V_T-H , $J-K_s$ показано на рис. 1: 8499 звезд O-B, 18 122 звезды A, 24 624 звезды F, 13 721 звезда G, 9732 звезды K и 2037 звезд M. Видно, что в согласии с теорией, НГП близка к прямой, а звезды разных классов довольно хорошо отделены друг от друга. Звезды-гиганты, не показанные на рисунке, занимают на диаграмме примерно ту же область, что карлики.

Звезды O-B заметно смещены покраснением параллельно показанной на рисунке теоретической линии покраснения звезд B5 (наклон линии взят из табл. 1). Кроме них выявилось некоторое число заметно покрасневших звезд класса F, что пока не нашло объяснения. Эти звезды, а также некоторое число звезд класса A попадает в ту же область диаграммы, что и покрасневшие звезды O-B.

Кроме того, некоторые из самых красных звезд K и M из-за нелинейности НГП также лежат на диаграмме ниже линии покраснения звезд B5, в той области, где звезды O-B могут оказаться только при покраснении больше 1^m4 , что встречается лишь для некоторых звезд с оболочками. В данной

работе при отборе звезд O-B звезды с покраснением больше 1^m4 были отброшены.

Видно, что любая выборка звезд O-B, сделанная на основе подобной двухцветной диаграммы, должна содержать некоторое число звезд A и F и ничтожно малое число звезд G, K и M. Для исключения из выборки звезд спектральных классов позднее B можно отбирать лишь звезды ниже линии покраснения B5, а не B9, но тогда вместе со звездами поздних классов мы теряем часть звезд B.

Проверим эффективность отбора звезд O-B на примере распределения 8121 звезды, классифицированных в TST как звезды O-B5 разных классов светимости (здесь и далее рассматриваем только основную часть каталога TST с 351863 звездами). На рис. 2 показано распределение этих 8121 звезды на диаграмме V_T-H , $J-K_s$. Показана НГП и теоретические линии покраснения для звезд O и B5.

Из рисунка можно сделать следующие заключения:

1) рассматриваемые звезды действительно лежат преимущественно между этими линиями покраснения,

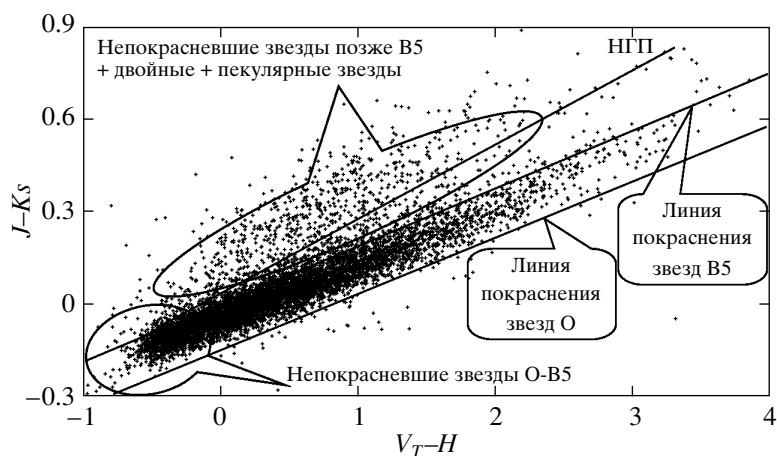


Рис. 2. Распределение 8121 звезды O–B5 из каталога Tycho Spectral Types на двухцветной диаграмме V_T-H , $J-K_s$.

2) покрасневших звезд довольно много,

3) около 3% рассматриваемых звезд лежат не в полосе между линиями покраснения O и B5, а преимущественно вдоль НГП, и, как показал детальный анализ, в основном являются пекулярными, двойными с составным спектром, ошибочно классифицированными звездами более поздних классов, или имеют менее точную фотометрию.

Таким образом, на рассматриваемых двухцветных диаграммах НГП и линии покраснения действительно близки к прямым и имеют разный наклон. Поэтому можно дать примерную спектральную классификацию звезды по ее положению на такой диаграмме относительно точки пересечения НГП и линии покраснения, на которой находится звезда. При этом точность классификации в основном зависит от точности использованных фотометрических данных. Каталоги 2MASS и Tycho-2 фактически являются первыми массовыми каталогами с довольно точной многополосной фотометрией: медианные точности величин B_T , V_T , J , H и K_s для 2.5 миллионов общих звезд равны соответственно 0^m14 , 0^m10 , 0^m02 , 0^m03 , 0^m02 . Для примерно 2 300 000 общих звезд 2MASS и Tycho-2 (91%) хотя бы один из показателей цвета B_T-J , B_T-H , B_T-K_s , V_T-J , V_T-H , V_T-K_s и хотя бы один из показателей цвета $J-H$ и $J-K_s$ имеет точность лучше 0^m2 . Видимо, при фотометрической точности будущих каталогов лучше 0^m01 рассматриваемый метод даст гораздо более точную спектральную классификацию звезд.

При отборе звезд и вычислении покраснения для каждой звезды использовалась двухцветная диаграмма с четверкой фотометрических величин, наиболее точных для данной звезды. В качестве предполагаемых звезд ОБ отбирались все общие звезды 2MASS и Tycho-2 из 2 300 000 звезд с

точной фотометрией, расположенные на рассматриваемых двухцветных диаграммах в области более ранних спектральных классов, чем линия покраснения B5, чтобы уменьшить в выборке число звезд поздних классов, хотя и за счет некоторой потери поздних звезд В. Из примерно 200 000 звезд с менее точной фотометрией отобраны те, которые, с учетом фотометрической точности, гарантированно попадают в область ниже теоретической линии покраснения звезд B5.

Для ярких звезд ($J < 5^m$) инфракрасная фотометрия 2MASS неточна и предложенный метод отбора звезд неприменим. Однако все эти звезды имеют точную фотометрию B_T и V_T из Tycho-2, входят в каталог HIPPARCOS, расположены преимущественно в радиусе 500 пк и имеют спектральную классификацию. Такие звезды отобраны напрямую из каталога HIPPARCOS при выполнении следующих условий: 1) $J < 5^m$, $H < 5^m$, $K_s < 5^m$; 2) точность фотометрии 2MASS во всех трех полосах ниже 0.15^m ; 3) согласно спектральной классификации это звезды ОБ; 4) $\pi > 0.002''$; 5) $M_V < -1^m$; 6) $B_T - V_T < 0.5^m$. Таких звезд, не отобранных по фотометрии, оказалось 85. Многие из них входят в ближайшую ОБ ассоциацию Скорпиона–Центавра. Далее считаем эти звезды непокрасневшими. Так как величины B_T и V_T известны для них с точностью лучше 0^m02 , рассмотренный далее метод вычисления и использования фотометрических расстояний применялся для этих звезд так же, как для остальных.

В итоге отобрано 37 485 звезд. Из них 98% имеют достаточно точную фотометрию, т.е. использованные показатели цвета имеют точность лучше 0.2^m , а медианные точности величин B_T , V_T , J , H и K_s равны соответственно 0^m04 , 0^m04 , 0^m02 , 0^m03 , 0^m02 .

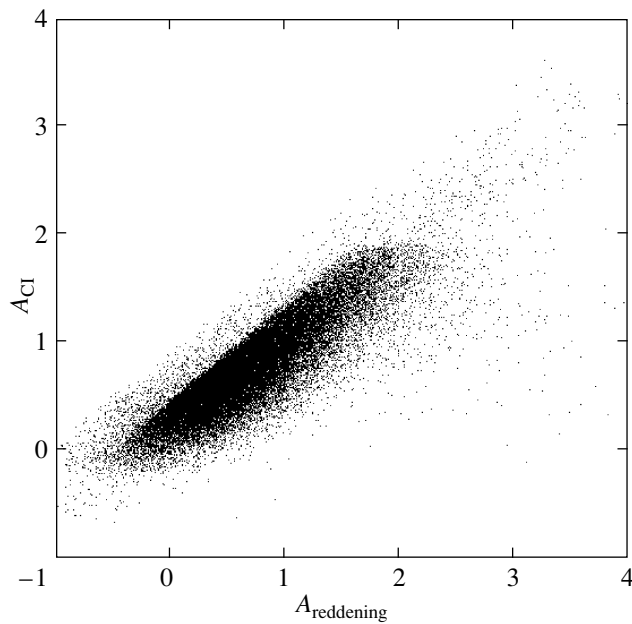


Рис. 3. Связь между поглощением $A_{V_T\text{-reddening}}$, вычисленным по смещению звезды вдоль теоретической линии покраснения на двухцветной диаграмме, и поглощением $A_{V_T\text{CI}}$, вычисленным по визуально-инфракрасному показателю цвета звезды, для 37 485 отобранных звезд.

Из отобранных звезд 9997 входят в каталог HIPPARCOS (27%), 21 861 — в TST (58%), спектральная классификация 15 395 звезд (41%) до сих пор была не известна. Распределение отобранных 21 861 звезд TST по классам таково (в скобках дан процент отобранных звезд к общему числу звезд данного класса в TST, т.е. эффективность отбора звезд данного класса): O — 446 (70%), B0–B5 — 6021 (76%), B5–B9 — 6632 (34%), A0 — 4904 (24%), A1–A9 — 3571 (8%), F — 236 (< 1%), G — 28 (< 0.1%), K — 20 (< 0.1%), M — 3 (< 0.1%). Надо учесть, что классификация TST может быть ошибочной или приблизительной. Например, в TST неправдоподобно велико число звезд A0. В других каталогах многие из них отмечены как звезды B или, наоборот, поздние A. Кроме того, из-за наблюдательной селекции в TST преобладают южные звезды. С учетом этого можно признать проведенный отбор звезд OB (преимущественно O–B5) достаточно эффективным.

УЧЕТ ПОКРАСНЕНИЯ

Для каждой из отобранных звезд покраснение может быть вычислено как смещение звезды относительно НПП по теоретической линии покраснения на рассмотренных двухцветных диаграммах. Однако самые голубые из отобранных

звезд, имеющие малое покраснение из-за близости к Солнечной системе, являются довольно яркими. Поэтому их инфракрасные величины определены в проекте 2MASS с низкой точностью, а инфракрасные показатели цвета типа $J-K_s$ фактически не содержат полезной информации для вычисления покраснения. Многие из этих звезд лежат на рассмотренных диаграммах левее НПП и, таким образом, формально имеют отрицательное покраснение. Для более реальной оценки покраснения вместо смещения звезды по линии покраснения использованы визуально-инфракрасные показатели цвета типа B_T-J , которые теоретически связаны с покраснением. На рис. 3 показано, что при одинаковом коэффициенте R поглощение, вычисленное по визуально-инфракрасному показателю цвета, довольно близко к поглощению, вычисленному по смещению звезды вдоль линии покраснения, и имеет отрицательное значение для гораздо меньшего числа звезд.

УЧЕТ ПОГЛОЩЕНИЯ

Обычно предполагается, что межзвездное поглощение A_{V_T} зависит линейно от покраснения $E_{(B_T-V_T)}$: $A_{V_T} = RE_{(B_T-V_T)}$, где R — коэффициент, зависящий от свойств межзвездной среды. Для определения коэффициента R предложен ряд методов. Один из них — метод экстраполяции закона экстинкции, описанный Страйжисом (1977, с. 39–40). При этом используются две визуальных и одна инфракрасная полоса, как можно более далекая, например K_s : $R = 1.12E_{(V_T-K_s)}/E_{(B_T-V_T)}$. То есть коэффициент R определяется как умноженный на 1.12 наклон тренда, проведенного через “облако” звезд на двухцветной диаграмме B_T-V_T , V_T-K_s . При этом могут рассматриваться разные выборки звезд и, таким образом, анализироваться зависимости коэффициента R от различных факторов. В данной работе ограничимся рассмотрением зависимости коэффициента R от галактической долготы. На рис. 4 показана двухцветная диаграмма B_T-V_T , V_T-K_s для отобранных звезд, находящихся во втором и четвертом галактических квадрантах. Видно, что звезды разных квадрантов преимущественно занимают несколько разные области диаграммы, и коэффициент R в четвертом квадранте заметно больше, чем во втором (в противоположность среднему покраснению звезд). Найдено, что для отобранных звезд зависимость коэффициента R от галактической долготы в первом приближении аппроксимируется синусоидой: $2.8 + 0.18 \sin(l + 115^\circ)$, где l — галактическая долгота в градусах.

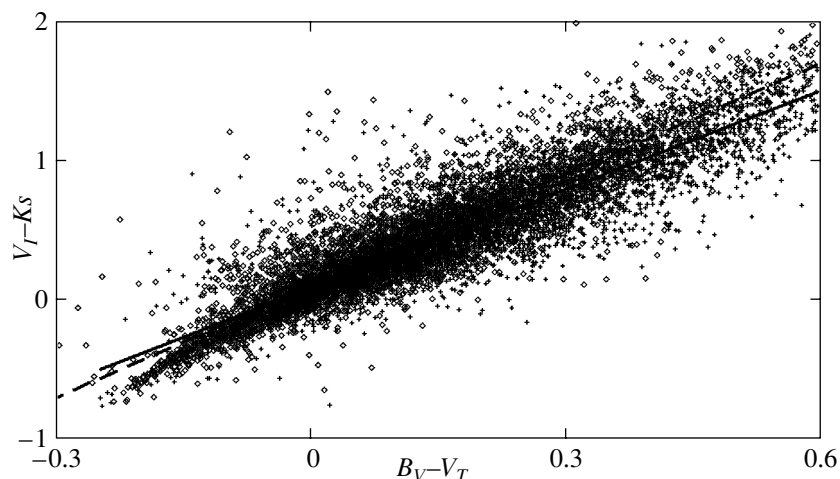


Рис. 4. Распределение отобранных звезд на двухцветной диаграмме $B_T - V_T$, $V_T - K_s$: для второго (крестики, сплошной тренд) и четвертого (ромбы, штриховой тренд) галактических квадрантов.

Межзвездное поглощение A_{V_T} для каждой из рассматриваемых звезд вычислено как произведение найденного коэффициента R и вычисленного ранее покраснения звезды. Так как поглощение вычислено индивидуально для каждой звезды, этот метод позволяет в будущем рассмотреть пространственные вариации поглощения, обнаружить крупные поглощающие облака и, возможно, построить точную трехмерную карту межзвездного поглощения для широких окрестностей Солнечной системы.

Сравнение полученного поглощения с поглощением по широко используемой трехмерной модели Арену и др. (1992) показано на рис. 5. Учитывая, что отобранные звезды лежат около галактической плоскости, ограничимся рассмотрением зависимости поглощения от галактической долготы. На рис. 5а показано поглощение по Арену и др. (1992) для 1129 отобранных звезд, входящих в каталог HIPPARCOS и, согласно параллаксам, находящихся в сферическом слое от 400 до 500 пк. Видны известные колебания поглощения с галактической долготой. На рис. 5б показано поглощение, найденное в данной работе для тех же 1129 звезд, а на рис. 5в — показано поглощение, найденное в данной работе для 3792 отобранных звезд, оказавшихся в сферическом слое от 400 до 500 пк согласно фотометрическим расстояниям, вычисленным далее в данной работе. Подчеркнем, что данные, представленные на рис. 5а и 5в, совершенно независимы. Однако заметно их хорошее согласие (результаты относятся к разным величинам (V и V_T), но в подобном контрольном сравнении этой разницей можно пренебречь). Таким образом, предложенный метод учета межзвездного поглощения дает правдоподобные результаты.

ВЫЧИСЛЕНИЕ ФОТОМЕТРИЧЕСКИХ РАССТОЯНИЙ

Если бы не было систематических движений звезд относительно Солнца, например из-за вращения Галактики и движения Солнца к апексу, и если бы отсутствовала наблюдательная селекция, полноценной заменой абсолютной звездной величины было бы приведенное собственное движение $M'_{V_T} = V_T - A_{V_T} + 5 + 5 \lg \mu$, где V_T — наблюдаемая звездная величина, A_{V_T} — межзвездное поглощение, $\mu = (\mu_\alpha \cos \delta^2 + \mu_\delta^2)^{-1/2}$ — собственное движение, выраженное в угловых секундах (Паренаго, 1954, с. 87). Вместо фотометрической полосы V_T можно использовать любую другую.

Теоретически используемое собственное движение должно быть исправлено за все систематические движения звезд и эффекты наблюдательной селекции. Но практически это невозможно, так как, например, некоторые из этих поправок зависят от расстояния, неизвестного для большинства рассматриваемых звезд.

Собственные движения всех отобранных звезд исправлены за вращение Галактики и движение Солнца к апексу по формулам, представленным Беликовым и др. (2002). При этом значения постоянных Оорта A и B , а также координаты апекса L_\odot , B_\odot и скорость движения Солнца V_\odot вычислены методом наименьших квадратов по собственным движениям и параллаксам 2202 отобранных звезд, для которых параллакс HIPPARCOS известен с относительной точностью лучше 0.2. Найденные значения постоянных Оорта $A = +13.5 \pm 1.0$, $B = -14.2 \pm 1.0$ км/с/кпк и характеристик апекса $L_\odot = 63^\circ \pm 2^\circ$, $B_\odot = 24^\circ \pm 3^\circ$, $V_\odot = 11.3 \pm 0.3$ км/с согласуются с координатами

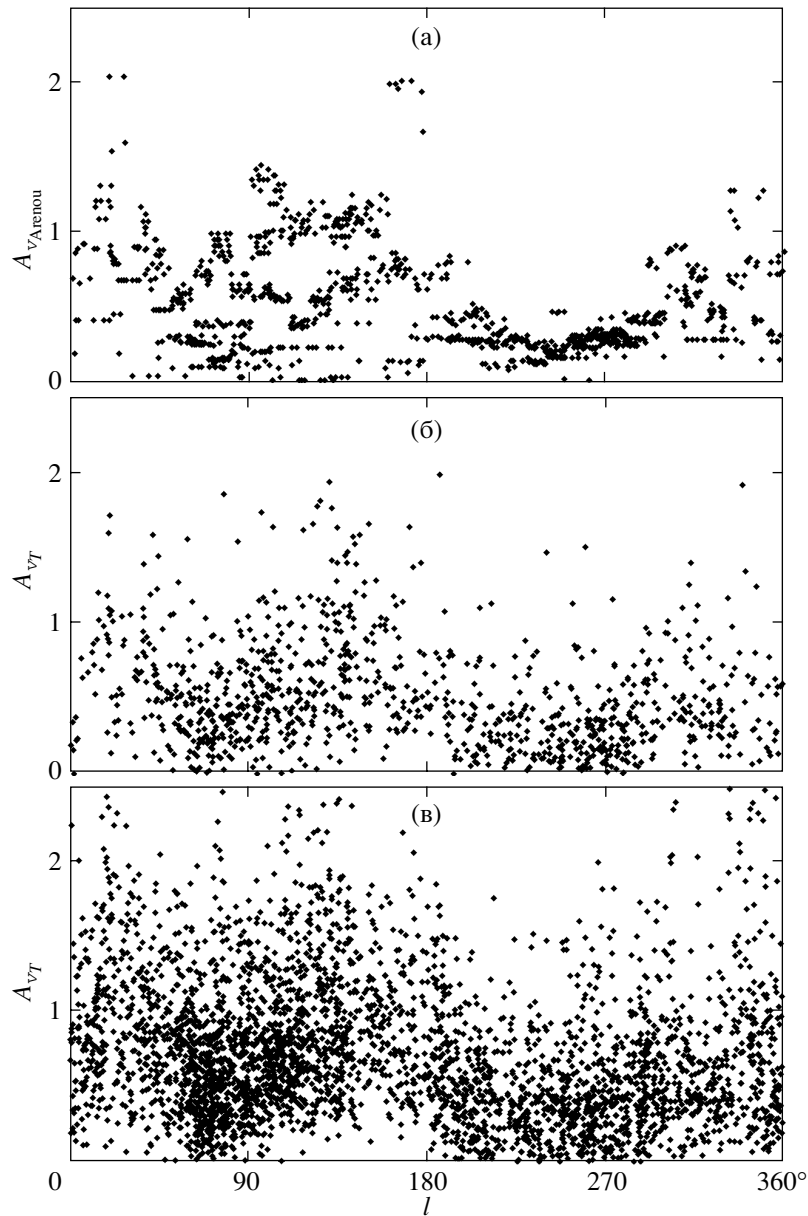


Рис. 5. Межзвездное поглощение в зависимости от галактической долготы для отобранных звезд на расстоянии от 400 до 500 пк: (а) — по модели поглощения Арену и др. (1992) для 1129 звезд каталога HIPPARCOS с учетом расстояний по параллаксам HIPPARCOS; (б) — поглощение, найденное в данной работе для тех же 1129 звезд; (в) — поглощение, найденное в данной работе для всех 3792 звезд с фотометрическим расстоянием от 400 до 500 пк.

стандартного апекса ($L_{\odot} = 57^{\circ}$, $B_{\odot} = 22^{\circ}$) и другими определениями постоянных Оорта, например, Бобылева (2004): $A = +13.7 \pm 0.6$, $B = -12.9 \pm 0.4$ км/с/кпк.

После исправления собственных движений за вращение Галактики и движение Солнца к апексу для всех отобранных звезд вычислены приведенные собственные движения M'_{V_T} с учетом найденного поглощения A_{V_T} . Для 2202 отобранных звезд, параллакс которых известен с относительной точностью лучше 0.2, установлена статистическая связь приведенного собственного дви-

жения и абсолютной звездной величины: $M_{V_T} = 0.45M'_{V_T} - 1$. По этой формуле для каждой из отобранных звезд вычислена абсолютная звездная величина, а затем — фотометрическое расстояние с учетом найденного ранее поглощения: $r_{ph} = 10^{(V_T - A_{V_T} - M_{V_T} + 5)/5}$.

Корреляция полученных фотометрических расстояний с расстояниями, вычисленными по параллаксам HIPPARCOS для 8525 отобранных звезд, показана на рис. 6: заметно согласие этих величин в пределах 500 пк.

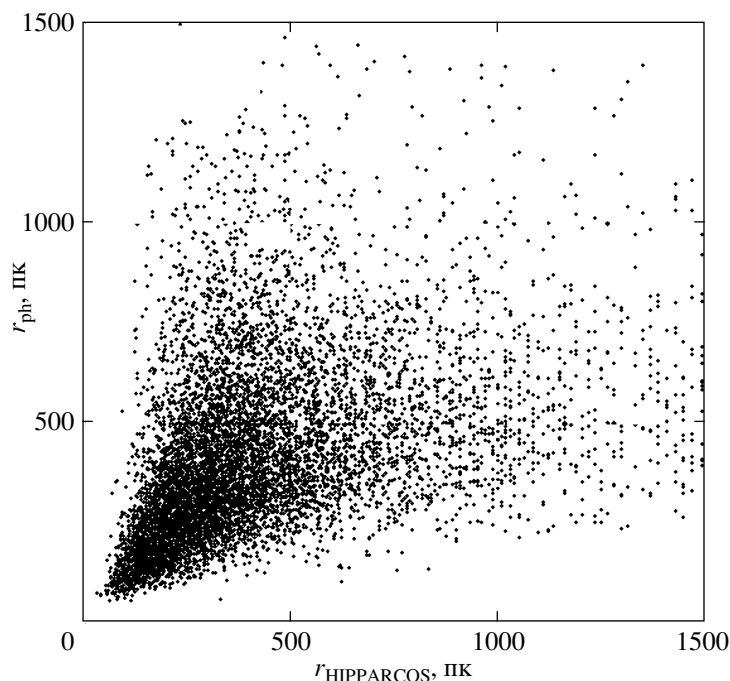


Рис. 6. Корреляция полученных фотометрических расстояний с расстояниями, вычисленными по параллаксам HIPPARCOS для 8525 отобранных звезд.

Как показано Беликовым и др. (2002), вычисленные таким методом фотометрические расстояния могут и систематически, и случайно отличаться от истинных: каждое компактное множество звезд (например, скопление) представляется растянутым и, возможно, смещенным в радиальном направлении. Этот эффект требует подробного анализа, после которого можно рассмотреть трехмерное распределение звезд. В частности, для уточнения поглощения и фотометрического расстояния каждой звезды в дальнейших исследованиях предполагается использовать две закономерности: 1) для звезд на одном луче зрения поглощение не может убывать с расстоянием; 2) согласно Арену и др. (1992) для звезд в пределах 1.5 кпк, находящихся около галактической плоскости, поглощение с достаточной точностью описывается уравнением $A_V = f(r) \sin(l + 20^\circ)$, где $f(r)$ — коэффициент, зависящий от расстояния, l — галактическая долгота в градусах. Видимо, эта формула верна и для A_{V_T} . Поэтому для каждой звезды известно соотношение $A_{V_T} + 5 \lg(r) = V_T + 5 - M_{V_T}$, где A_{V_T} — поглощение, r — расстояние, V_T — наблюдаемая звездная величина, M_{V_T} — абсолютная звездная величина, учитывая линейную связь абсолютной величины и приведенного собственного движения, преобразуется в уравнение: $f(r) \sin(l + 20^\circ) + 5 \lg r = V_T + 5 - k_1(V_T + 5 + 5 \lg \mu) + k_2$, где k_1 и k_2 — коэффициенты, единые для всего множества рассматриваемых звезд и уточняемые итерациями наряду с r . Такой под-

ход позволит уточнить не только фотометрические расстояния, но и вариации поглощения в галактической плоскости.

На рис. 7а,б показано поглощение в зависимости от расстояния: поглощение по Арену и др. (1992) в зависимости от расстояния по параллаксам HIPPARCOS для 8937 отобранных звезд и поглощение и фотометрические расстояния, найденные в данной работе для 37 318 отобранных звезд в пределах 3 кпк. Виден схожий рост поглощения в пределах ближайшего килопарсека. Кривая в левой нижней части рис. 7б иллюстрирует этот рост. Однако из рис. 7б видно, что для далеких звезд поглощение в среднем *убывает* с расстоянием. Столь неожиданный результат объясняется тем, что мы имеем дело с дважды ограниченной выборкой звезд: отобраны звезды ОБ, т.е. преимущественно в узком диапазоне абсолютных величин, а каталог Тушо-2 полон лишь до определенной видимой величины. В результате далекие звезды с большим поглощением не попали в каталог Тушо-2, в отличие от далеких звезд с малым поглощением, и величина поглощения, при которой звезда не попадает в каталог Тушо-2, уменьшается с расстоянием. Соответствующая зависимость показана на рис. 7б как логарифмическая “линия полноты Тушо-2”: $A_{V_T \text{lim}} = V_{T \text{lim}} - M_{V_T \text{lim}} + 5 - 5 \lg r$, где $A_{V_T \text{lim}}$ — величина поглощения, при которой нарушается полнота выборки, $V_{T \text{lim}} \approx 10^m$ — видимая звездная величина, до которой полон каталог Тушо-2, $M_{V_T \text{lim}} \approx -1^m 3 -$

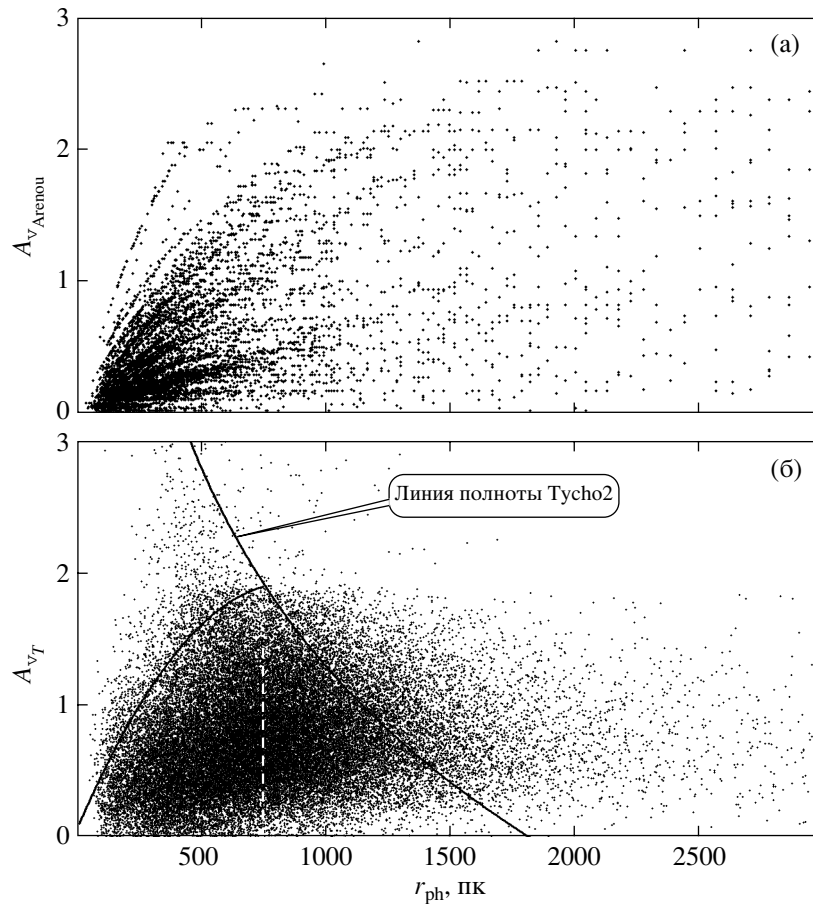


Рис. 7. Межзвездное поглощение в зависимости от расстояния: (а) — поглощение по модели Арэну и др. (1992), расстояния по параллаксам HIPPARCOS для 8937 отобранных звезд; (б) — поглощение и фотометрические расстояния, найденные в данной работе для 37 318 отобранных звезд в пределах 3 кпк.

абсолютная звездная величина, ярче которой звезды ОВ редки, r — расстояние. Звезды, видимые на рис. 7б правее и выше этой “линии полноты”, имеют $M_{V_T} < -1^m$. Рост их числа с расстоянием объясняется увеличением рассматриваемого объема пространства.

Интересны немногочисленные звезды в левой верхней части рис. 7б, левее обеих кривых. Они показывают аномально большое поглощение и, как оказалось, преимущественно являются звездами с оболочками и другими особенностями, которые либо действительно дают большое поглощение, либо не позволяют применять к ним изложенный метод. В обоих случаях вычисленное фотометрическое расстояние может быть фиктивным.

Расстояние, на котором “линия полноты Tycho-2” прерывает естественно нарастающее поглощение, стоит считать расстоянием, до которого рассматриваемая выборка звезд почти полна в отношении звезд ранее некоего спектрального класса (более голубые звезды отбирались эффективнее). Это расстояние, 750 пк, отмечено белой штриховой линией. В радиусе 750 пк находятся

20 843 из 37 485 отобранных звезд. Таким образом, совместное использование каталогов 2MASS и Tycho-2 впервые позволяет рассмотреть почти *полную* выборку звезд определенного класса в значительной области пространства. При использовании каталога HIPPARCOS аналогичная область пространства имела радиус несколько десятков парсек. Большое число звезд ОВ, находящихся на расстояниях, казалось бы, доступных проекту HIPPARCOS, не попало в этот каталог, оказавшись слабее предельной звездной величины: например, типичная звезда B5V с $M_{V_T} = -1^m$ на расстоянии 400 пк при $A_{V_T} = 1^m$ имеет $V_T = 8^m$ и, вероятно, не попала в каталог HIPPARCOS, полный в плоскости Галактики только до $V_T \approx 7^m$.

При прочих равных условиях, чем больше покраснение звезды и поглощение в направлении на нее, тем меньше вероятность ее попадания в *неполную* выборку. Так что *неполные* выборки звезд большой светимости на больших расстояниях дают заниженную оценку межзвездного поглощения. Исключить эти эффекты можно только рассматривая *полные* выборки звезд.

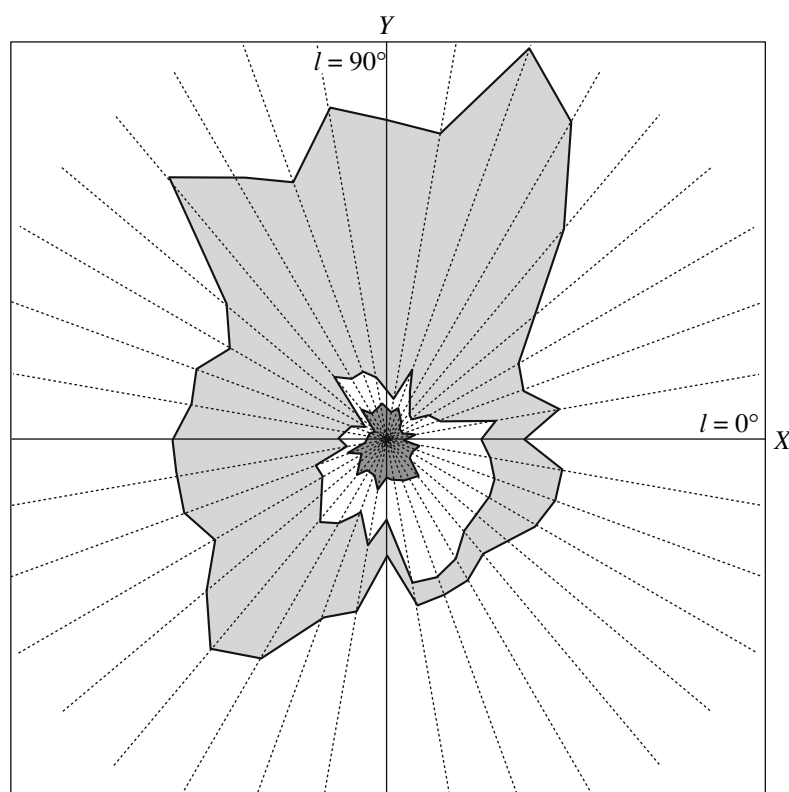


Рис. 8. Распределение звезд по галактической долготе (длина радиус-вектора в каждом 10-градусном секторе пропорциональна числу звезд): внутренний контур — 5129 звезд O–B7 из HIPPARCOS Input Catalogue, средний контур — 13 168 звезд O–B7 из Tycho Spectral Types, внешний контур — 37 485 звезд, отобранных в данной работе.

Таким образом, данное исследование выявило большое число заметно покрасневших звезд, не попавших в каталоги HIPPARCOS и TST. Особенно много таких звезд выявлено в первом и втором галактических квадрантах, что несколько меняет ставшее за 10 лет классическим представление о распределении звезд ОБ по данным HIPPARCOS (см., например, Гончаров, 2004). В данной работе ограничимся рассмотрением распределения звезд ОБ по галактической долготе, показанного на рис. 8: длина радиус-вектора в каждом 10-градусном секторе пропорциональна числу звезд, внутренний контур показывает распределение 5129 звезд O–B7 из HIPPARCOS, средний контур — 13 168 звезд O–B7 из TST, внешний контур — 37 485 звезд, отобранных в данной работе. Большое число звезд TST в четвертом квадранте является результатом наблюдательной селекции. Большое число отобранных в данной работе звезд во втором и третьем октантах объясняется большим поглощением, как видно на рис. 5, и является аргументом в пользу того, что эти звезды представляют отрезок Местного спирального рукава, протянувшегося примерно от второго к шестому октанту.

ОТОБРАННЫЕ ЗВЕЗДЫ В ОБ АССОЦИАЦИЯХ

Проверим эффективность отбора звезд ОБ и правдоподобность найденных фотометрических расстояний на примере 11 известных ассоциаций, исследованных Зевом и др. (1999). В табл. 2 приведены имя ассоциации, процент звезд ОБ — членов ассоциации по списку Зева и др., отобранных

Таблица 2. Отобранные звезды в известных ассоциациях

Ассоциация	Число звезд ОБ, %	r_{Zeeuw} , ПК	r_{ph} , ПК
Lower Cen-Cru	71	116 ± 2	160 ± 11
Upper Cen-Lup	68	142 ± 2	146 ± 7
Upper Sco	43	144 ± 3	142 ± 12
Per OB3	77	185 ± 5	128 ± 6
Cep OB6	83	270 ± 12	218 ± 21
Per OB2	82	318 ± 27	363 ± 19
Vel OB2	61	410 ± 12	395 ± 19
Lac OB1	72	364 ± 22	512 ± 36
Trumpler 10	52	366 ± 23	358 ± 25
Collinder 121	75	592 ± 28	649 ± 29
Cep OB2	80	624 ± 42	766 ± 47

изложенным в данной работе методом, среднее расстояние до ассоциации по звездам ранних классов и его точность по Зеву и др., среднее фотометрическое расстояние до ассоциации и его точность по звездам, отобраным в данной работе (точность вычислена по стандартному отклонению расстояний). Видно, что предложенный метод отбора звезд ОВ довольно эффективен. Заметно приемлемое согласие средних расстояний до ассоциаций, полученных двумя методами, отсутствие систематического расхождения и высокую точность фотометрических расстояний. Эти результаты следует считать предварительными.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Данное исследование показало, что метод определения фундаментальных параметров звезд по многоцветной фотометрии, изложенный Страйжисом (1977), в полной мере может быть реализован только теперь, на основе крупных каталогов с однородной фотометрией на уровне точности $0^m 1$, таких как Tycho-2 и 2MASS. Полученные результаты важны не только для исследования галактических структур, таких как Местный спиральный рукав, но и для современных крупных астрономических проектов, ключевой задачей которых является автоматическая классификация миллионов звезд и протяженных объектов по их многоцветной фотометрии.

Рассматриваемым методом из всего множества 2.5 миллионов звезд разных классов довольно эффективно отобраны 37 485 предполагаемых звезд ОВ. Для них вычислены правдоподобные покраснения, коэффициенты поглощения R , поглощения, абсолютные звездные величины и фотометрические расстояния. Видимо, получена почти полная выборка звезд спектральных классов О и ранних В в радиусе 750 пк от Солнца. При этом выявлено много значительно покрасневших звезд, не попавших в каталоги HIPPARCOS и TST.

Автор выражает благодарность В.В. Бобылеву, А.Т. Байковой и А.С. Расторгуеву за советы и консультации. В этом исследовании использован каталог 2MASS (Two Micron All Sky Survey), любезно предоставленный Роком Кутри (Roc Cutri), и ресурсы Центра астрономических данных в Страсбурге (Франция) (<http://cdsweb.u-strasbg.fr/>). Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант 05-02-17047).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Арену и др. (F. Arenou, M. Grenon, and A. Gomez), *Astron. Astrophys.* **258**, 104 (1992).
2. Беликов и др. (A.N. Belikov, N.V. Kharchenko, A.E. Piskunov, et al.), *Astron. Astrophys.* **387**, 117 (2002).
3. Бобылев В.В., Письма в Астрон. журн. **30**, 185 (2004).
4. Гончаров (G.A. Gontcharov), *ASP Conf. Ser.* **316**, 221 (2004).
5. ЕКА (ESA), *HIPPARCOS and Tycho Catalogues* (ESA, 1997).
6. Зев и др. (P.T. de Zeeuw, R. Hoogerwerf, J.H.J. de Bruijne, et al.), *Astron. J.* **117**, 354 (1999).
7. Паренаго П.П., *Курс звездной астрономии* (М.: ГИТТЛ, 1954).
8. Райт и др. (C.O. Wright, M.P. Egan, K.E. Kraemer, et al.), *Astron. J.* **125**, 359 (2003).
9. Скрутские и др. (M.F. Skrutskie, R.M. Cutri, R. Stiening, et al.), *Astron. J.* **131**, 1163 (2006); <http://www.ipac.caltech.edu/2mass/releases/all-sky/index.html>.
10. Страйжис, *Многоцветная фотометрия звезд* (Вильнюс: Моклас, 1977).
11. Турон и др. (C. Turon, M. Crézé, D. Egret, et al.), *Bull. Inform. CDS* **43**, 5 (1993).
12. Хег и др. (E. Høg, C. Fabricius, V.V. Makarov, et al.), *Astron. Astrophys.* **355**, L27 (2000).