

УДК 524.3

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ОРИЕНТАЦИИ СИСТЕМЫ ICRS/UCAC2 С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ХАРЬКОВСКОГО КАТАЛОГА АБСОЛЮТНЫХ СОБСТВЕННЫХ ДВИЖЕНИЙ ЗВЕЗД

© 2010 г. В. В. Бобылев^{1*}, П. Н. Федоров², А. Т. Байкова¹, В. С. Ахметов²

¹Главная астрономическая обсерватория РАН Пулково

²Харьковский национальный университет им. В.Н. Каразина, Украина

Поступила в редакцию 16.07.2009 г.

Абсолютные собственные движения около 275 млн. звезд Харьковского каталога ХРМ были получены из сравнения их положений, приведенных в каталогах 2MASS и USNO-A2.0 с разностью эпох около 45 лет для звезд северного полушария и около 17 лет для звезд южного полушария. Нуль-пункт системы абсолютных собственных движений определен с использованием около 1.45 миллионов галактик. Из сравнения собственных движений звезд каталогов ХРМ и UCAC2 определены экваториальные компоненты вектора остаточного вращения системы координат ICRS/UCAC2 относительно системы внегалактических источников: $\omega_{x,y,z} = (-0.06, 0.17, -0.84) \pm (0.15, 0.14, 0.14)$ мсек. дуги/год. Эти параметры вычислены с использованием около 1 миллиона самых слабых звезд каталога UCAC2 со звездными величинами $R_{\text{UCAC2}} > 16^m$, $J > 14^m7$, для которых пренебрежимо малы эффекты уравнивания блеска и цвета.

Ключевые слова: астрометрия, каталоги, система ICRS, абсолютные собственные движения звезд.

ВВЕДЕНИЕ

Международная небесная система отсчета (International Celestial Reference System, ICRS) с 1998 г. реализуется Международной опорной небесной системой отсчета (International Celestial Reference Frame, ICRF), которая представляется каталогом положений квазаров и других внегалактических радиоисточников. Этот каталог был распространен на оптический диапазон, когда с ним был связан каталог HIPPARCOS (1997).

В работе Ковалевского и др. (1997) было установлено, что система координат ICRS/HIPPARCOS не имеет остаточного вращения относительно инерциальной системы координат с ошибкой ± 0.25 мсек. дуги/год по трем осям.

Позднее с появлением новых данных Бобылевым (2004б) были найдены следующие параметры вращения системы каталога HIPPARCOS относительно внегалактической системы координат: $\omega_x = 0.04 \pm 0.15$ мсек. дуги/год, $\omega_y = 0.18 \pm 0.12$ мсек. дуги/год, $\omega_z = -0.35 \pm 0.09$ мсек. дуги/год (компоненты вращения в экваториальной системе координат). Этот результат подтверждается анализом кинематики как звезд

HIPPARCOS (Бобылев, 2004а), так и сотен тысяч слабых звезд каталогов Tycho-2 и UCAC2 (Бобылев, Ховричев, 2006). В целом он не противоречит и результатам работы Бобольца и др. (2007), в которой был выполнен анализ положений и собственных движений 46 радиозвезд, получены параметры взаимной ориентации оптической реализации (HIPPARCOS) и радио системы: $e_x = -0.4 \pm 2.6$ мсек. дуги, $e_y = 0.1 \pm 2.6$ мсек. дуги, $e_z = -3.2 \pm 2.9$ мсек. дуги, а также компоненты вектора остаточного взаимного вращения: $\omega_x = 0.55 \pm 0.34$ мсек. дуги/год, $\omega_y = 0.02 \pm 0.36$ мсек. дуги/год, $\omega_z = -0.41 \pm 0.37$ мсек. дуги/год. Бобольц и др. (2007) делают справедливый вывод о том, что в пределах ошибок значимые вращения отсутствуют. Отметим также оценку угловой скорости вращения системы HIPPARCOS относительно координатных систем эфемерид DE403 и DE405: $|\omega| = 0.94 \pm 0.20$ мсек. дуги/год, где компоненты найденного вектора имеют вид $\omega_x = 0.12 \pm 0.08$ мсек. дуги/год, $\omega_y = 0.66 \pm 0.09$ мсек. дуги/год, $\omega_z = -0.56 \pm 0.16$ мсек. дуги/год, которые получены в работе Чернетенко (2008) из анализа наблюдений астероидов. Этот результат позволяет сделать вывод о том, что либо динамические теории DE403 и DE405 нуждаются в

* Электронный адрес: vbobylev@gao.spb.ru

улучшении, либо система HIPPARCOS нуждается в поправке. Как видим, один из компонентов, а именно ω_z , в ряде случаев значимо отличается от нуля. Определение этого параметра независимым способом является крайне актуальной задачей.

В Харьковском национальном университете им. В.Н. Каразина на основе данных каталогов 2MASS (Скрутски и др., 2006) и USNO-A2.0 (Моне, 1998) осуществлен вывод абсолютных собственных движений около 275 миллионов звезд слабее 12^m (Федоров и др., 2009). Для этого каталога мы используем сокращение ХРМ. Звезды ХРМ покрывают всю небесную сферу за исключением небольшой области вблизи направления на галактический центр (рис. 1б). Собственные движения звезд были получены из сравнения их положений, приведенных в каталогах 2MASS Point Sources Catalog и USNO-A2.0 с разностью эпох около 45 лет для северного полушария и около 17 лет для звезд южного полушария. Нуль-пункт системы абсолютных собственных движений (поправки абсолютизации) определен с использованием около 1.45 миллионов галактик из каталога 2MASS. Таким образом, каталог ХРМ является независимой реализацией инерциальной системы координат. Наиболее значимые систематические зональные ошибки в USNO-A2.0 были исключены до вывода собственных движений. Среднее значение формальной ошибки абсолютизации составляет меньше 1 мсек. дуги/год, а случайная ошибка собственного движения составляет 3–8 мсек. дуги/год в зависимости от звездной величины. Данная версия каталога ХРМ содержит положения звезд в системе ICRS на эпоху J2000, оригинальные абсолютные собственные движения звезд, а также B , R , J , H и K звездные величины.

В настоящей работе ставится задача определения вектора остаточного вращения оптической реализации системы ICRS/HIPPARCOS относительно системы координат, задаваемой внегалактическими источниками. В качестве реализации системы ICRS/HIPPARCOS мы используем каталог UCAC2 (Захариас и др., 2004), который распространяет систему на звезды до $R_{\text{UCAC2}} \approx 16^m.5$. Каталог собственных движений звезд ХРМ выступает в качестве реализации инерциальной системы координат. Задача решается путем сравнения собственных движений общих звезд в каталогах ХРМ и UCAC2, на основе которых определяются параметры взаимного вращения (компоненты вектора ω).

МЕТОД

Для определения величин $\omega(\omega_x, \omega_y, \omega_z)$ использованы известные уравнения (Линдегрэн, Ковалевский, 1995):

$$\Delta\mu_\alpha \cos \delta = \omega_x \cos \alpha \sin \delta + \omega_y \sin \alpha \sin \delta - \omega_z \cos \delta, \quad (1)$$

$$\Delta\mu_\delta = -\omega_x \sin \alpha + \omega_y \cos \alpha, \quad (2)$$

где в левых частях находятся разности собственных движений звезд вида “ХРМ-UCAC2”. Система условных уравнений (1)–(2) решается методом наименьших квадратов.

Всего нами отождествлено около 36 млн. общих звезд в каталогах ХРМ и UCAC2. При этом были исключены 63 поля ХРМ с ненадежной абсолютизацией — они расположены вдоль галактического экватора, в зоне избегания, где галактик очень мало, либо их вовсе нет.

На рис. 1 показан пример распределения по небесной сфере звезд каталога ХРМ. Для построения рисунка было использовано около 1.6 млн. звезд, имеющих величины $B_{\text{USNO-B}}$ в интервале $17^m.00-17^m.02$.

На рис. 1а хорошо видна неоднородность распределения, вызванная сильной концентрацией звезд к галактической плоскости. Очевидно, что в случае решения системы уравнений (1)–(2) с использованием индивидуальных звезд, решение окажется смещенным, так как наибольший вес получит зона галактического экватора, в которой расположено подавляющее количество звезд. Для того, чтобы избавиться от указанной неоднородности, мы применяем известный метод Шарлье с использованием площадок равной площади. Суть метода в том, что несмотря на разницу в количестве звезд, каждой площадке присваивается единичный вес при решении системы условных уравнений (1)–(2). Мы применили разбивку на 432 площадки. Из-за пропусков различного характера реально используются только около 380 таких площадок. Пропуски, в основном, вызваны тем, что в каталоге UCAC2 нет данных в зоне северного неба при $\delta > 54^\circ$.

Сравнение звезд каталогов ХРМ и UCAC2 показало, что средние значения дисперсий разностей собственных движений звезд не превышают 9 мсек. дуги/год по обоим координатам. В этом случае оценка $9/\sqrt{2} = 6.4$ мсек. дуги/год находится в хорошем согласии как с заявленной точностью собственных движений в каталоге UCAC2, так и с оценками точности этих величин в каталоге ХРМ.

С целью исключения ошибочных отождествлений мы применяли следующие ограничения на величину разностей собственных движений звезд: $|\Delta\mu_\alpha \cos \delta| < 50$ мсек. дуги/год и $|\Delta\mu_\delta| < 50$ мсек. дуги/год.

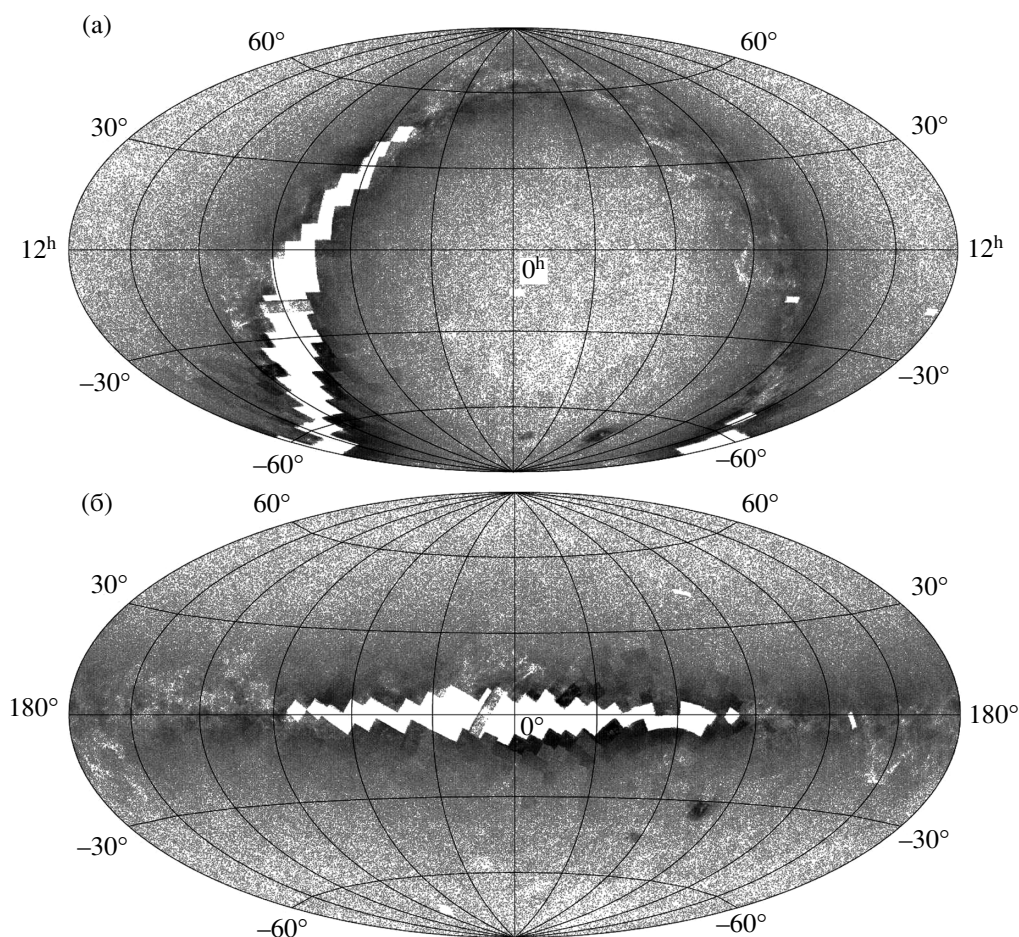


Рис. 1. Распределения выборки звезд $B = 17^m$ каталога XPM по небесной сфере в экваториальной (а) и галактической системе координат (б); пустые области отмечают 63 поля с ненадежной абсолютизацией.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Анализ разностей

На рис. 2 даны средние значения разностей собственных движений звезд вида “XPM-UCAC2” в зависимости от звездной величины J , на рис. 3 даны компоненты вектора $\omega(\omega_x, \omega_y, \omega_z)$, найденные по разностям этих же звезд, в зависимости от звездной величины J . Для построения рис. 2 и 3 были использованы разности около 30 млн. звезд.

Из рис. 3 видно, что значения компонент ω_x и ω_y не отличаются значимо от нуля на всем рассматриваемом интервале звездных величин. Юа-зисимость же ω_z от звездной величины велика. Отметим, что ω_z определяется только из уравнения (1), поэтому на ее определение влияют только особенности разностей вида $\Delta\mu_\alpha \cos \delta$.

Из рис. 2 следует, что зависимость разностей ω_z на интервале $12^m < J < 15^m$ можно аппроксимировать линейным трендом с коэффициентом уравнения блеска (УБ) ≈ -0.4 мсек. дуги/год на зв. величину. Такой тренд можно связать с наличием УБ в каталоге UCAC2. Действительно, в работе

Бобылева, Ховричева (2006) было показано, что собственные движения звезд UCAC2 со звездными величинами в интервале $R_{\text{UCAC2}} = 12^m - 15^m$ искажены УБ в $\mu_\alpha \cos \delta$ с коэффициентом $-0.6 \pm \pm 0.05$ мсек. дуги/год на зв. величину. При этом характер зависимости разностей “PUL3SE-UCAC2” в $\mu_\alpha \cos \delta$ от звездной величины очень близок к аналогичной зависимости на рис. 2.

Так как заметной зависимости разностей $\Delta\mu_\delta$ вида “PUL3SE-UCAC2” от звездной величины в работе Бобылева, Ховричева (2006) не обнаружено, можно предположить, что УБ этого типа присутствует в каталоге XPM. Из рис. 2 следует, что на интервале $10^m < J < 13^m$ в разностях $\Delta\mu_\delta$ коэффициент УБ составляет ≈ -0.6 мсек. дуги/год на зв. величину.

Изучение УБ является темой отдельного исследования. Для выполнения же поставленной в настоящей работе задачи достаточно взять самые слабые звезды каталога UCAC2, не обладающие заметным уравнением блеска. Для этой цели вполне пригодны звезды с $R_{\text{UCAC2}} > 16^m$. Как

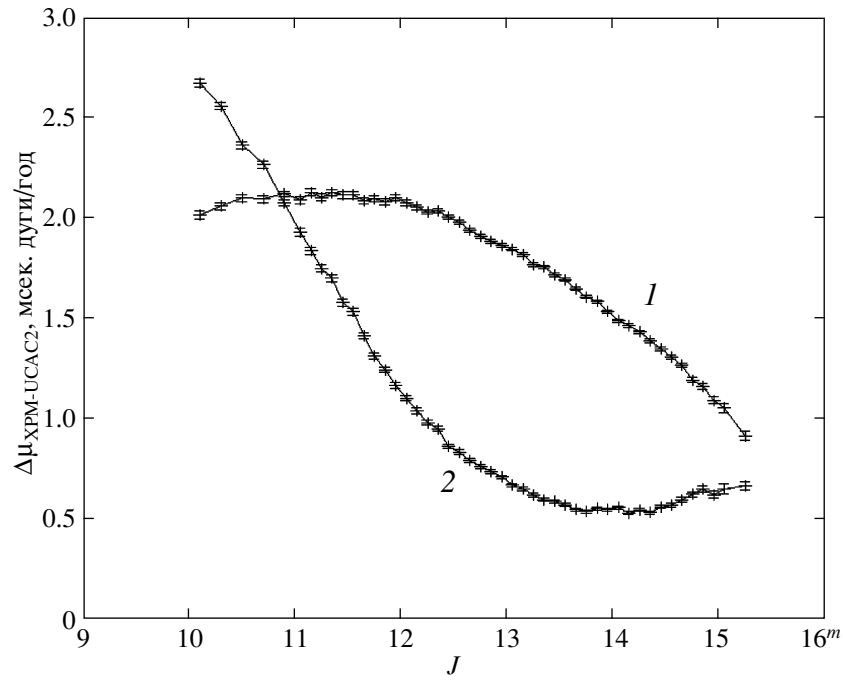


Рис. 2. Средние разности собственных движений звезд вида “XPM-UCAC2”: 1 — $\Delta\mu_\alpha \cos \delta$, 2 — $\Delta\mu_\delta$ в зависимости от звездной величины J .

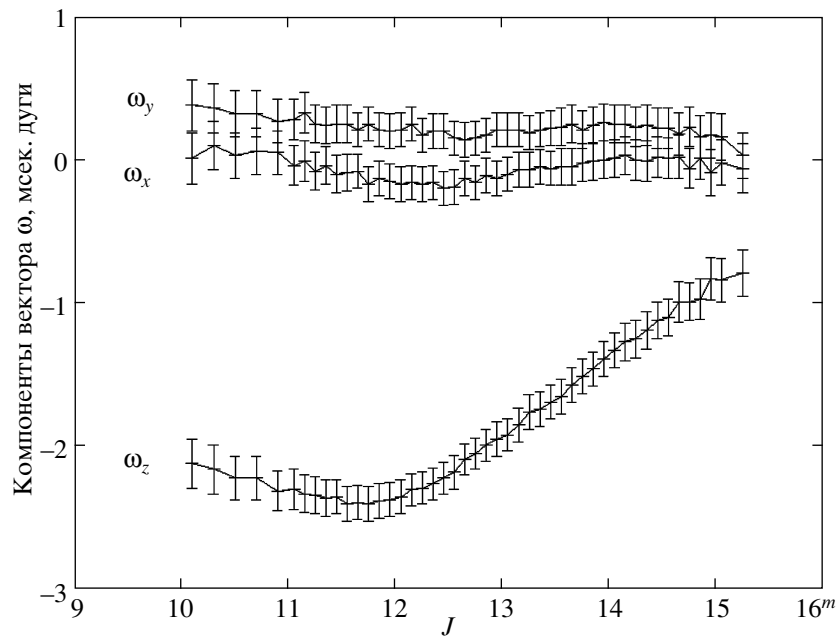


Рис. 3. Компоненты вектора остаточного вращения системы координат ICRS/UCAC2 относительно системы внегалактических источников, найденные из сравнения звезд каталогов XPM и UCAC2, в зависимости от звездной величины J .

следует из рис. 2, необходимо убрать яркие звезды и для того, чтобы свести к минимуму влияние УБ в μ_δ каталога XPM.

На рис. 4 даны найденные компоненты вектора ω в зависимости от звездной величины J для выборки звезд с $R_{\text{UCAC2}} > 16^m$. Так как имеется

ограничение на R_{UCAC2} , то с уменьшением J наблюдаем увеличение показателя цвета, например, $R_{\text{UCAC2}} - J$. Как можно видеть из рисунка, стабильно ведут себя две величины — ω_y и ω_z , а значение ω_x показывает заметный тренд и стремится к -1 мсек.

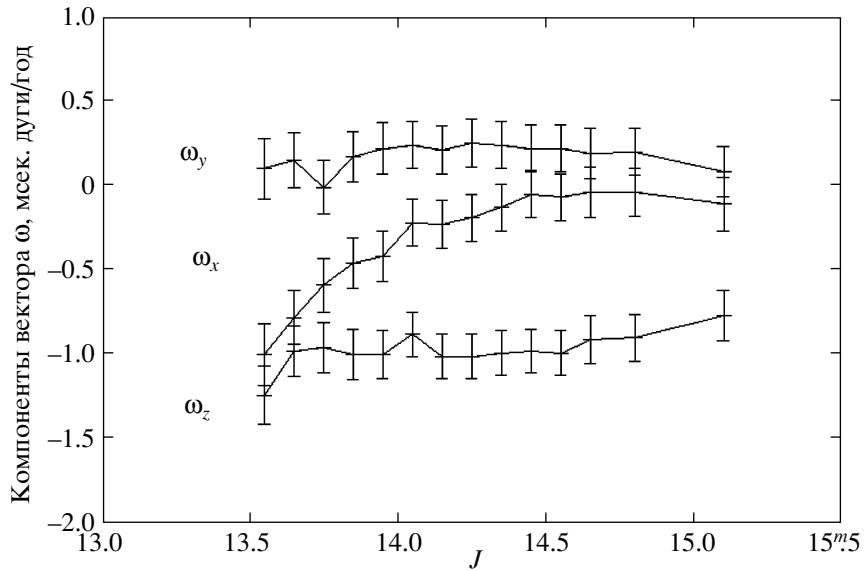


Рис. 4. Компоненты вектора остаточного вращения системы координат ICRS/UCAC2 относительно системы внегалактических источников, найденные из сравнения звезд каталогов XPM и UCAC2, в зависимости от звездной величины J для выборки звезд $R_{\text{UCAC2}} > 16^m$.

дуги/год при $J < 14^m$. Такое поведение ω_x связано с наличием уравнения цвета в каком-либо из анализируемых каталогов, так как при $J < 14^m$ в среднем показатель цвета $R_{\text{UCAC2}} - J > 2^m$, т.е. звезды имеют существенное покраснение. Процент таких звезд невелик, но их лучше исключить из рассмотрения.

Данные рис. 4 позволяют сделать вывод о том, что для разностей собственных движений звезд в интервале звездных величин $J > 14^m$ и $R_{\text{UCAC2}} > 16^m$ мало как влияние уравнения блеска, так и уравнения цвета.

С целью изучения влияния уравнения цвета на определяемые величины было выполнено раздельное решение уравнений (1)–(2). Выборка и подход такие же, что и для построения рис. 4, только интервал величин пошире, $J > 13^m0$. Результаты отражены на рис. 5, из которого видно, что значительное уравнение цвета присутствует только в разностях вида $\Delta\mu_\alpha \cos \delta$ и влияет главным образом на определение параметра ω_x . Легко видеть, что для зависимости ω_x на интервале $R - J = 1^m5 - 3^m$ коэффициент линейного тренда составляет ≈ -2.8 мсек. дуги/год на зв. величину.

С использованием разностей 3146504 звезд с $J > 14^m0$ и $R_{\text{UCAC2}} > 16^m0$ в результате решения системы уравнений (1)–(2) были найдены следующие параметры:

$$\begin{aligned} \omega_x &= -0.08 \pm 0.14 \text{ мсек. дуги/год,} \\ \omega_y &= +0.21 \pm 0.14 \text{ мсек. дуги/год,} \\ \omega_z &= -0.95 \pm 0.13 \text{ мсек. дуги/год.} \end{aligned} \quad (3)$$

Для этой выборки $\bar{R}_{\text{UCAC2}} = 16^m2$, $\bar{J} = 14^m8$ и средний показатель цвета $\bar{R} - \bar{J} = 1^m6$.

Кинематика звезд выборки

С целью изучения свойств полученной выборки звезд мы нашли кинематические параметры линейной модели Огородникова–Милна. Метод подробно описан в работе Бобылева, Ховричева (2006). Условные уравнения записываются в следующем виде

$$\begin{aligned} \mu_l \cos b &= X_\odot \sin l - Y_\odot \cos l - \\ &- M_{32}^- \cos l \sin b - M_{13}^- \sin l \sin b + M_{21}^+ \cos b + \\ &+ M_{12}^+ \cos 2l \cos b - M_{13}^+ \sin l \sin b \\ &+ M_{23}^+ \cos l \sin b - 0.5(M_{11}^+ - M_{22}^+) \sin 2l \cos b, \end{aligned} \quad (4)$$

$$\begin{aligned} \mu_b &= X_\odot \cos l \sin b + Y_\odot \sin l \sin b - \\ &- Z_\odot \cos b + M_{32}^- \sin l - M_{13}^- \cos l - \\ &- 0.5M_{12}^+ \sin 2l \sin 2b + M_{13}^+ \cos l \cos 2b + \\ &+ M_{23}^+ \sin l \cos 2b - 0.5(M_{11}^+ - M_{22}^+) \cos^2 l \sin 2b + \\ &+ 0.5(M_{33}^+ - M_{22}^+) \sin 2b. \end{aligned} \quad (5)$$

При этой записи (без учета индивидуальных расстояний) все искомые неизвестные выражаются в мсек. дуги/год. В левых частях находятся галактические компоненты собственных движений, усредненные в каждой площадке Шарлье, l, b — галактические координаты. При данном подходе разбивка на площадки выполнена в соответствии с галактическими координатами.

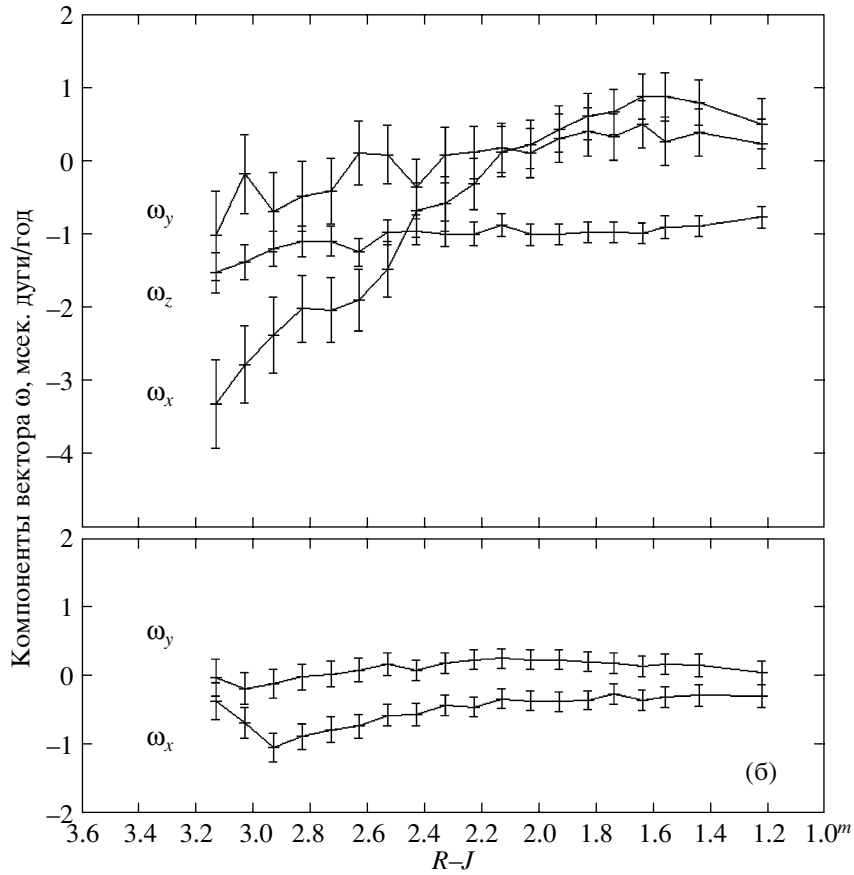


Рис. 5. Компоненты вектора ω в зависимости от показателя цвета $R_{\text{УСАС2}} - J$, найденные в результате раздельного решения уравнений (1)–(2); (а) — только из уравнения (1), (б) — только из уравнения (2).

Величины $X_{\odot}, Y_{\odot}, Z_{\odot}$ являются компонентами пекулярной скорости Солнца. Величины $M_{12}^-, M_{13}^-, M_{23}^-$ являются компонентами вектора твердотельного вращения малой окосолнечной окрестности вокруг галактических осей Z, Y, X соответственно. Величина M_{21}^- (мсек. дуги/год) связана с постоянной Оорта В (км/с/кпк) через коэффициент пропорциональности 4.74.

Каждая из величин $M_{12}^+, M_{13}^+, M_{23}^+$ описывает деформацию в соответствующей плоскости. Величина M_{12}^+ (мсек. дуги/год) связана с постоянной Оорта А (км/с/кпк) через коэффициент пропорциональности 4.74. Диагональные компоненты тензора локальной деформации $M_{11}^+, M_{22}^+, M_{33}^+$ описывают общее сжатие или расширение всей звездной системы. При использовании только собственных движений звезд, как известно, один из диагональных членов тензора локальной деформации остается неопределенным. Поэтому мы определяем разности вида $(M_{11}^+ - M_{22}^+)$ и $(M_{33}^+ - M_{22}^+)$.

Для оценки среднего расстояния до звезд выборки используем статистический метод. В

качестве известной скорости пекулярного движения Солнца относительно местного стандарта покоя берем значения из работы Денена, Бинни (1998): $(U_{\odot}, V_{\odot}, W_{\odot}) = (10.00, 5.25, 7.17) \pm (0.36, 0.62, 0.38)$ км/с. Параллакс вычисляем по двум формулам: $\pi_U = 4.74 \cdot X_{\odot}/U_{\odot}$ и $\pi_W = 4.74 \cdot Z_{\odot}/W_{\odot}$, где X_{\odot} и Z_{\odot} — найденные компоненты групповой скорости звезд, выраженные в мсек. дуги/год. Компонента Y_{\odot} заметно искажена скоростью асимметричного дрейфа (Денен, Бинни, 1998), поэтому данная проекция для определения групповых параллаксов не используется. Расстояние d находим из соотношения $d = 1/\pi$. В таблице даны две оценки, полученные по скоростям U_{\odot} и W_{\odot} .

Результаты решения системы уравнений (4)–(5), которые решались методом наименьших квадратов, отражены в таблице. Для исключения звезд с большими собственными движениями, которые могут испортить статистику, использовалось ограничение на модуль тангенциальной скорости звезды $\sqrt{(\mu_{\alpha} \cos \delta)^2 + (\mu_{\delta})^2} < 150$ мсек. дуги/год. Решения получены для одной и той же выборки

Кинематические параметры модели Огородникова–Милна

Параметры, мсек. дуги/год	ХРМ	UCAC2
X_{\odot}	1.53 ± 0.11	2.55 ± 0.09
Y_{\odot}	6.16 ± 0.10	7.59 ± 0.09
Z_{\odot}	1.14 ± 0.11	2.28 ± 0.09
M_{21}^+	1.89 ± 0.14	2.72 ± 0.12
M_{32}^-	-0.28 ± 0.11	-0.10 ± 0.09
M_{13}^-	0.57 ± 0.10	-0.39 ± 0.09
M_{21}^-	-2.12 ± 0.11	-2.39 ± 0.09
M_{11-22}^+	-0.19 ± 0.27	-0.21 ± 0.23
M_{13}^+	-0.16 ± 0.13	0.10 ± 0.11
M_{23}^+	0.24 ± 0.13	-0.06 ± 0.11
M_{33-22}^+	-0.07 ± 0.28	0.12 ± 0.24
d_U , кпк	1.4 ± 0.4	0.8 ± 0.2
d_W , кпк	1.3 ± 0.4	0.7 ± 0.2
A , км/с/кпк	8.9 ± 0.6	12.9 ± 0.5
B , км/с/кпк	-10.1 ± 0.5	-11.3 ± 0.4

звезд, по которой было найдено решение (3), но с двумя различными наборами собственных движений звезд — из каталогов ХРМ и UCAC2.

Как следует из таблицы, все кинематические параметры модели Огородникова–Милна немного точнее определяются по собственным движениям звезд UCAC2. Решения, полученные по UCAC2 находятся в очень хорошем согласии с их анализом, выполненным в работе Бобылева, Ховричева (2006) на основе других выборок из этого каталога. Для ряда параметров, найденных с использованием каталога ХРМ имеются небольшие отличия: это компоненты скорости Солнца X_{\odot} и W_{\odot} и, как следствие, различие в оценках статистического расстояния d_U и d_W . Имеются и различия в оценках постоянных Оорта A и B . Отметим, при формировании выборки звезд для решения (3) мы взяли слабые звезды каталога UCAC2. Для каталога же ХРМ эти звезды ($\bar{B} = 16^m.6$) отнюдь не слабые (предельная величина $B \approx 21^m$). Поэтому, указанные различия в этих параметрах вызваны наличием небольших (от больших мы избавились) эффектов уравнивания блеска и цвета в каталоге ХРМ, которые требуют их тщательного изучения и устранения для получения надежных данных при анализе кинематики Галактики.

Для целей настоящей работы нас более всего интересуют значения параметра $M_{13}^- = 0.57 \pm$

± 0.10 мсек. дуги/год по данным ХРМ и $M_{13}^- = -0.39 \pm 0.09$ мсек. дуги/год по данным UCAC2. Модуль их разностей вида “ХРМ–UCAC2” составляет 0.96 мсек. дуги/год, что находится в согласии с модулем ω_z решения (3). Это связано с тем, что в галактической системе координат направление на полюс мира близко к направлению галактической оси Y . Поэтому вращение вокруг экваториальной оси Z проявляет себя в галактической системе координат в основном как вращение вокруг галактической оси Y , которое в нашем случае описывается параметром M_{13}^- .

Вектор ω

С помощью предложенных ограничений мы избавились от значительных проявлений уравнивания блеска и цвета. Но, как видно из рис. 4, 5, даже на интервале $J > 14^m$ имеются незначительные тренды для всех определяемых величин. Поэтому для окончательного решения были использованы разности 1 145 768 самых слабых звезд с величинами $J > 14^m.7$ и $R_{UCAC2} > 16^m.0$, которые, по нашему мнению, заслуживают наибольшего доверия. На рис. 4 и 5 этому интервалу величин соответствуют две крайние справа точки. Для этой выборки $\bar{J} = 14^m.9$ и средний показатель цвета $\bar{R}-\bar{J} = 1^m.4$. В итоге мы нашли параметры

$$\omega_x = -0.06 \pm 0.15 \text{ мсек. дуги/год}, \quad (6)$$

$$\omega_y = +0.17 \pm 0.14 \text{ мсек. дуги/год},$$

$$\omega_z = -0.84 \pm 0.14 \text{ мсек. дуги/год},$$

которые являются главным результатом настоящей работы.

ОБСУЖДЕНИЕ

Найденные нами значения компонент ω_x и ω_y не отличаются значимо от нуля. Значение $\omega_z = -0.84 \pm 0.14$ мсек. дуги/год значимо отличается от нуля. Полученные нами результаты качественно находятся в хорошем согласии с результатами ряда наиболее обширных индивидуальных программ, использованных для привязки HIPPARCOS к системе внегалактических источников (Ковалевский и др., 1997). Например, по киевской программе было найдено (Кислюк и др., 1997): $\omega_x = -0.27 \pm 0.80$ мсек. дуги/год, $\omega_y = +0.15 \pm 0.60$ мсек. дуги/год, $\omega_z = -1.07 \pm 0.80$ мсек. дуги/год. Отметим также результаты анализа пулковской программы (Бобылев и др., 2004): $\omega_x = -0.98 \pm 0.47$ мсек. дуги/год, $\omega_y = -0.03 \pm 0.38$ мсек. дуги/год, $\omega_z = -1.66 \pm 0.42$ мсек. дуги/год. Полученные нами параметры находятся в хорошем согласии с современными результатами анализа многолетнего

ряда наблюдений астероидов (Чернетенко, 2008), отмеченными во введении.

Найденные проявления уравнения блеска и цвета в яркой части данной версии каталога ХРМ обусловлены особенностями вывода его собственных движений, так как изображения звезд в каталоге 2MASS получены в ближней инфракрасной области спектра, а в USNO-A2.0 — в оптическом диапазоне.

Использование достаточно большого количества звезд сравнения в решении (4) позволило определить искомые параметры с высокой точностью. Сделанные нами ограничения позволяют надеяться, что полученные результаты не искажены эффектами уравнения блеска и цвета.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Сравнение промежуточной версии каталога ХРМ и UCAC2 показало, что средние значения дисперсий разностей собственных движений звезд составляют ≈ 9 мсек. дуги/год по обоим координатам. Это дает оценку средней случайной ошибки собственных движений звезд каждого из каталогов по внешней сходимости ≈ 6 мсек. дуги/год, которая находится в хорошем согласии как с заявленной точностью их в UCAC2, так и с оценками их точности в ХРМ.

Установлено, что разности вида “ХРМ-UCAC2”, как $\Delta\mu_\alpha \cos \delta$, так и $\Delta\mu_\delta$ имеют значительные нелинейные зависимости от звездной величины.

Мы полагаем, что уравнение блеска в $\Delta\mu_\alpha \cos \delta$ связано с его присутствием в каталоге UCAC2, а в $\Delta\mu_\delta$ — в каталоге ХРМ. На интервале $10^m < J < 13^m$ коэффициент линейного тренда для уравнения блеска в $\Delta\mu_\delta$ составляет ≈ -0.6 мсек. дуги/год на зв. величину.

Показано, что в $\Delta\mu_\alpha \cos \delta$ присутствует значительная зависимость от цвета, коэффициент линейного тренда которого на интервале $R_{\text{UCAC2}} - J = 1^m5 - 3^m$ для ω_x составляет ≈ -2.8 мсек. дуги/год на зв. величину. Для минимизации этих эффектов предложен ряд ограничений на звездную величину и цвет звезд. Показано, что приемлемые параметры $\omega_x, \omega_y, \omega_z$ возможно получить в интервале величин $J > 14^m0$ при $R_{\text{UCAC2}} > 16^m$ (решение (3)). Выполненный кинематический контроль на основе линейной модели Огородникова—Милна показал, что использованная выборка звезд ХРМ не имеет существенных кинематических отклонений.

Наиболее надежные значения компонент вектора остаточного вращения системы координат ICRS/UCAC2 относительно системы внегалактических источников $(\omega_x, \omega_y, \omega_z) = (-0.06, 0.17, -0.84) \pm (0.15, 0.14, 0.14)$ мсек. дуги/год вычислены с использованием самых слабых

1 145 768 звезд каталога UCAC2 со звездными величинами $R_{\text{UCAC2}} > 16^m$ и $J > 14^m7$.

Найденные компоненты $\omega_x, \omega_y, \omega_z$ могут быть использованы в дальнейшем для вывода наиболее вероятных значений параметров привязки оптической реализации системы ICRS/HIPPARCOS к системе внегалактических источников.

Большой интерес представляет дальнейший кинематический анализ абсолютных собственных движений слабых звезд каталога ХРМ. Однако требуется тщательное изучение и устранение эффектов уравнения блеска и в особенности уравнения цвета в этом каталоге.

Авторы благодарны рецензентам за полезные замечания, которые способствовали улучшению работы. Российские авторы благодарны Г.Т. Байковой за помощь в работе с данными. Работа поддержана российским фондом фундаментальных исследований (грант № 09-02-90443-Лкр_ф_а) с российской стороны и Конкурсом совместных проектов фундаментальных исследований “ДФФД-РФФД-2009” (проект № Ф28.2/042) с украинской стороны.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бобольтц и др. (D.A. Boboltz, A.L. Fey, W.K. Puatua, et al.), Astron. J. **133**, 906 (2007).
2. Бобылев В.В., Письма в Астрон. журн. **30**, 289 (2004а).
3. Бобылев В.В., Письма в Астрон. журн. **30**, 930 (2004б).
4. Бобылев В.В., Ховричев М.Ю., Письма в Астрон. журн. **32**, 676 (2006).
5. Бобылев В.В., Бронникова Н.М., Шахт Н.А., Письма в Астрон. журн. **30**, 519 (2004).
6. Денен, Бинни (W. Dehnen and J.J. Binney), MNRAS **298**, 387 (1998).
7. Захариас и др. (N. Zacharias, S.E. Urban, M.I. Zacharias, et al.), Astron. J. **127**, 3043 (2004).
8. Кислюк и др. (V.S. Kislyuk, S.P. Rybka, A.I. Yatsenko, et al.), Astron. Astrophys. **321**, 660 (1997).
9. Ковалевский и др. (J. Kovalevsky, L. Lindegren, M.A.C. Perryman, et al.), Astron. Astrophys. **323**, 620 (1997).
10. Линдегрэн, Ковалевский (L. Lindegren and J. Kovalevsky), Astron. Astrophys. **304**, 189 (1995).
11. Моне (D.G. Monet), Bull. Am. Astron. Soc. **30**, 1427 (1998).
12. Скрытски и др. (M.F. Skrutskie, R.M. Cutri, R. Stiening, et al.), Astron. J. **131**, 1163 (2006).
13. Федоров и др. (P.N. Fedorov, A.A. Myznikov, and V.S. Akhmetov), MNRAS **393**, 133 (2009).
14. Чернетенко Ю.А., Письма в Астрон. журн. **34**, 296 (2008).
15. The HIPPARCOS and Tycho Catalogues, ESA SP-1200, (1997).