

УДК 521.9 (083.8) + 521.91

П. Н. Федоров¹, В. С. Ахметов¹, А. В. Шульга²

¹ Науково-дослідний інститут астрономії Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна, Харків

² Науково-дослідний інститут «Миколаївська астрономічна обсерваторія», Миколаїв

ОПОРНЫЕ СИСТЕМЫ КООРДИНАТ В СОВРЕМЕННОЙ АСТРОМЕТРИИ

Коротко викладено основні принципи побудови сучасних опорних систем координат в астрометрії. Приведено характеристики основних каталогів, які реалізують систему ICRS. Виконано порівняння власних рухів каталогів UCAC3 та PPMXL з каталогом ХРМ, який є незалежною реалізацією системи ICRS в оптичному та близькому інфрачервоному діапазонах. Зроблено висновок, що за опорну систему для більшості фундаментальних і прикладних метрологічних задач необхідно використовувати каталог ХРМ, як найточніший у випадковому та систематичному відношенні.

ВВЕДЕНИЕ

Все явления природы происходят в реальном физическом мире — пространстве-времени. Моделью такого мира является пространство событий — четырехмерное многообразие с определенной метрической структурой. Любое явление, в том числе и астрономическое, которое происходит в определенный момент времени в некоторой точке трехмерного пространства, обычно принято называть элементарным событием и изображать точкой в пространстве событий. Если каждому такому событию поставить в соответствие взаимно однозначным образом четверку чисел, то их можно назвать координатами события. Конкретный способ такого отображения называется пространственно-временной системой координат ПВСК (в англоязычной литературе этому понятию соответствует термин — Reference System (RS), или теоретическая система отсчета) и представляет собой объединение временной координаты (ВК) и трехмерной пространственной системы координат (ПСК). ПВСК создается физиками и представляет собой абстрактную математическую конструкцию — идеальную систему координат, которая в рамках различных физических теорий наделяется различными физическими свойствами. В зависимости от различных физических теорий в про-

странстве событий могут быть реализованы различные ВК и ПСК.

В отличие от пространственно-временной системы координат, которая ничем не закреплена в космическом пространстве, пространственно-временная система отсчета — ПВСО (в англоязычной литературе — Reference Frame (RF), или опорная система отсчета) создается астрометристами и является практической реализацией ПВСК, не совпадающей с ней. Практическая реализация подразумевает выбор конкретной физической модели, в рамках которой выполняется построение реализации временной координаты в виде стандартных шкал времени и реализации пространственной системы отсчета, выбор метода наблюдений и их обработки, а также выбор опорных объектов (реперов), чьи пространственные координаты на некоторую эпоху в уже выбранной шкале времени известны. В зависимости от того, какие объекты выступают реперами и каков уровень теоретических знаний о них, реализации могут быть получены разными методами. Если реперами служат звезды, обладающие собственным движением, то их фиксация в пространстве выполняется так называемым кинематическим способом. Учет изменения пространственных координат со временем может осуществляться на основе теорий движения тел Солнечной системы. Такой подход называется динамическим методом. В случае использования внегалактических источников в

качестве реперов постулируется, что эти объекты не имеют вращательного компонента в своем движении, а соответствующий метод принято называть геометрическим.

ICRS В РАДИОДИАПАЗОНЕ

На рубеже XX—XXI веков в астрономии в качестве стандарта была введена новая система координат, получившая название ICRS (International Celestial Reference System) [5]. Она сменила прежнюю систему координат, которая была реализована каталогом FK5. Преимущества перехода к новой системе отсчета очевидны и обусловлены двумя обстоятельствами. Во-первых, это использование в качестве реперов квазаров, у которых даже в случае равенства их лучевых скоростей тангенциальным собственными движениями не будут превышать десятков микросекунд дуги в год. Во-вторых, новая система координат не связана с экватором Земли и таким образом перестает быть зависимой от его нутационно-прецессионного движения. Первоначальная реализация этой системы координат получила название ICRF (International Celestial Reference Frame) и была реализована в полосах S (13 см) и X (3.6 см) радиодиапазона. Каталог радиоположений ICRF вместе со шкалами TDB и TDT есть реализацией барицентрической ПВСК в рамках ОТО, поскольку при его построении были учтены некоторые релятивистские эффекты. Реализация получена геометрическим методом, так как направления осей ICRF фиксируются положениями 608 реперов — точечных внегалактических радиоисточников, выведенных из наземных РСДБ наблюдений с точностью порядка 1 миллисекунды дуги (мсд). Следующая реализация ICRS, названная ICRF2, была представлена на Генеральной ассамблее МАС в 2009 г. В связи с этим ГА приняла резолюцию В3, предусматривающую введение ICRF2 с 01.01.2010 г. Каталог ICRF2 содержит положения 3414 компактных внегалактических радиоисточников с порогом ошибки 0.05—0.1 мсд [16].

ICRS В ОПТИЧЕСКОМ ДИАПАЗОНЕ

Однако прямое использование системы ICRF при позиционных наблюдениях в видимом и лю-

бом другом диапазонах практически невозможно из-за малого количества опорных объектов и их низкой светимости. Поэтому для оптического диапазона был создан аналог ICRF на основе результатов измерений, выполненных на борту космического аппарата HIPPARCOS, получивший название HCRF (Hipparcos Celestial Reference Frame). Средняя точность положений звезд каталога на среднюю эпоху наблюдений J1991.25 оценивается значениями 0.6—0.9 мсд, а средняя точность собственных движений — около 1 мсд/год. Подмножество положений и собственных движений каталога HIPPARCOS [19, 26] (около 80 %) представляет собой оптическую реализацию ICRS и так же, как и ICRF, вместе со шкалами TDB и TDT есть реализацией барицентрической ПВСК в рамках ОТО. HCRF была введена в действие решением 24-й Генеральной ассамблеи МАС. Для фиксации осей системы, задаваемой каталогом HIPPARCOS, применяется кинематический метод. В качестве реперов используются звезды с известными на уровне точности примерно 1 мсд/год собственными движениями. Каталог охватывает все небо и содержит яркие звезды с блеском приблизительно до 9^м. При этом точность привязки каталога HIPPARCOS к системе ICRF по координатам оценивается величиной 0.6 мсд, а остаточное вращение системы каталога не превосходит 0.25 мсд/год и может рассматриваться как количественная характеристика инерциальности системы HCRF.

Совершенно очевидно, что для решения очень многих астрометрических задач эту систему необходимо было уплотнять и распространять в слабую область диапазона звездных величин. Отчетливое понимание такой необходимости привело к созданию каталогов АСТ [27], TRC [14] и «Tycho-2» [11], выведенных на основе комбинации наземных и космических данных, а затем были выполнены ПЗС наблюдения всего неба и в системе HIPPARCOS/«Tycho-2» получены каталоги UCAC-2 [30] и UCAC-3 [29]. Эти каталоги являются распространителями системы HIPPARCOS на слабые звезды, подобно тому как каталог PPM [21] распространяет систему FK5 примерно на 400 тысяч относительно слабых звезд. В последнее время стал доступным

каталог PPMXL [22], который содержит примерно 900 млн звезд. Он создан на базе каталогов 2MASS [24] и USNO-B1 [18] и содержит положения и собственные движения звезд в системе HIPPARCOS /«Tycho-2».

Таким образом, можно констатировать, что на сегодняшний день система координат в оптическом диапазоне создана и распространена в слабую область приблизительно до 20^m .

ICRS В ИНФРАКРАСНОМ ДИАПАЗОНЕ

Наиболее известным каталогом в ближнем инфракрасном диапазоне является каталог 2MASS (The Two Micron All Sky Survey). Его положения даны в системе ICRS, поскольку для их выведения в качестве опорного каталога использовался каталог «Tycho-2». Точность этих положений составляет около 100 мсд. Каталог 2MASS содержит около 471 млн точечных источников, около 1.6 млн протяженных источников и покрывает всю небесную сферу. Для каждой звезды приведены звездные величины J (1.25 мкм), H (1.65 мкм) и K_s (2.16 мкм). При чувствительности ($S/N = 10$) предельные звездные величины составляют: $J = 15.8^m$, $H = 15.1^m$ и $K_s = 14.3^m$.

КРАТКИЙ АНАЛИЗ И СРАВНЕНИЕ КАТАЛОГОВ

Некоторые работы по переопределению вектора вращения системы HCRF, сделанные в последнее время, свидетельствуют о том, что параметры привязки этой системы к ICRF, полученные в работе [13], требуют уточнения. Также уместно заметить, что общепринятая практика использования ярких опорных звезд в задаче распространения системы HIPPARCOS на слабые звезды неизбежно приводит к появлению систематических ошибок типа уравнивание блеска, которые заметно искажают собственные движения создаваемых каталогов. Это обусловлено использованием в качестве первых эпох при выведении новых собственных движений данных наблюдений из фотографических обзоров (других просто нет), полученных в 50—80 годы прошлого столетия. Поэтому подавляющее большинство современных каталогов системы HIPPARCOS/«Tycho-2» отягощено заметными систематическими ошибками в собственных движениях.

Важнейшие характеристики современных систем координат мы приводим в таблице. Здесь представлены основные каталоги системы HCRF. Среди каталогов абсолютных собственных движений представлен также каталог XPM, который в отношении собственных движений является независимой реализацией внегалактической опорной квазиинерциальной системы координат в оптическом и ближнем инфракрасном диапазоне. Кроме того, мы выполняем сравнение двух независимых реализаций ICRS (XPM — UCAC3 и XPM — PPMXL) в оптическом диапазоне с целью установления единой опорной системы для множества важнейших приложений. Так, например, в космонавтике для навигации и ориентации космических аппаратов используются астроинерциальные системы, основанные на обработке измерений не только координат одиночных звезд-астроориентиров, но и для систем астроориентации с панорамными приемниками излучения, фиксирующими картину некоторого участка звездного неба. Из сравнения относительного расположения звезд поля в данный момент времени с данными каталога, содержащегося в бортовом компьютере, определяют ориентацию космического аппарата.

Приведенные в таблице значения отражают главным образом случайные ошибки астрометрических и фотометрических параметров. Строго говоря, не все из приведенных каталогов являются опорными системами. Далее мы рассматриваем только три каталога, охватывающих все небо и воспроизводящих систему координат на любой момент времени. Это каталоги UCAC3 и PPMXL, которые покрывают все небо и представляют систему HCRF вплоть до 20^m , а также каталог XPM, представляющий независимую в отношении собственных движений систему координат.

На рис. 1 и 2 приведено сравнение собственных движений общих звезд каталогов XPM, UCAC-3 и PPMXL в отдельных площадках. Очевидно, что в каталоге UCAC-3 внутри полей размером примерно $5 \times 5^\circ$ есть заметные систематические искажения собственных движений. Хотя среднее значение собственных движений

от поля к полю ведет себя достаточно плавно, разрывы на краях полей очень велики и достигают 40 мсд/год. Это не столь важно для кинематических исследований, но очень критично для решения астрометрических задач. Например, при позиционных наблюдениях ИСЗ, потенциально опасных астероидов [23], других тел Солнечной системы наблюдения выполняются последо-

вательными сериями на видимых дугах протяженностью от 5 до 20° с помощью ПЗС-матриц в небольших полях. Наличие систематических искажений поля собственных движений в широко используемых опорных каталогах (USNO A2.0, USNO-B1, UCAC3) приводит в конечном итоге к существенным (до 200—1000 мсд) ошибкам положений космических объектов.

Некоторые характеристики каталогов системы ICRS

Каталоги системы ICRS, количество объектов	Диапазон δ ; диапазон блеска	Ошибка положений, мсд; (эпоха)	Ошибка собственных движений, мсд/год	Ошибка блеска
<i>Каталоги системы ICRS</i>				
Tycho-2 [11] 2.5 млн	$-90^\circ \dots +90^\circ$ $B < 13.5^m$; $V +$	60 (2000.0)	2.5	0.1^m
UCAC-2 [30] 48.3 млн	$-90^\circ \dots +40^\circ$ $R < 16^m$	15—70 (2000.0)	1—7	$0.1\text{—}0.3^m$
UCAC-3 [29] 100.8 млн	$-90^\circ \dots +90^\circ$ $R < 16^m$	15—100 (2000.0)	1—10	$0.1\text{—}0.3^m$
USNO-A2.0 [17] 526 млн	$-90^\circ \dots +90^\circ$ $B < 21^m$; $R +$	500 (средняя эпоха B -, R -наблюдений)	Нет собственных движений	0.5^m
USNO-B1.0 [18] 1043 млн	$-90^\circ \dots +90^\circ$ $B < 22^m$; $R +$; $I +$	200 (2000.0)	?	$0.3\text{—}0.5^m$
GSC-2.3 [15] 945.6 млн.	$-90^\circ \dots +90^\circ$ $B < 22.5^m$; $R +$; $I +$	200—500 (эпоха наблюдений)	Нет собственных движений	$0.1\text{—}0.2^m$
PPMXL [22] 910 млн	$-90^\circ \dots +90^\circ$ $V < 20^m$; $R +$; $I +$	80—300 (2000.0)	7—15 (N) 15—30 (S)	$0.3\text{—}0.5^m$
NPM-2 [10] 232 тыс.	$-23^\circ \dots +83^\circ$ $B < 18^m$	200 (2000.0)	6	0.2^m
XC-1 [6, 7] 856 тыс.	$-90^\circ \dots +53^\circ$ $B < 21^m$; $R +$	40 (2000.0)	1—2	0.5^m
SPM-3 [9] 10.7 млн	$-45^\circ \dots -25^\circ$ $V < 17.5^m$	20—150 (1991.25)	2—10	0.2^m
SPM-4 [28] 103.3 млн	$-90^\circ \dots -20^\circ$ $V < 17.5^m$	30—150 (2000.0)	2—10	
2MASS [24] 471 млн	$-90^\circ \dots +90^\circ$ $J < 14.5^m$; $H +$; $K_s +$	100 (2000.0)	Нет собственных движений	0.03^m
<i>Каталоги абсолютных собственных движений</i>				
NPM-1 [12] 149 тыс.	$-23^\circ \dots +90^\circ$ $B < 18^m$	300 (2000.0)	5	0.2^m
Pul-2 [1] 60 тыс.	$-5^\circ \dots +85^\circ$ $B < 16.5^m$	150—200 (эпоха наблюдений)	5—9	?
GPM [25] 53 тыс.	$-25^\circ \dots +90^\circ$ $B < 15.5^m$	250 (эпоха наблюдений)	8	$0.2\text{—}0.25^m$
SPM-2 [20] 287 тыс.	$-45^\circ \dots -22^\circ$ $V < 18.5^m$	20—150 (1991.25)	2—5	0.05^m
XPM [7, 8] 300 млн	$-90^\circ \dots +90^\circ$ $B < 22^m$; $R +$; $J +$; $H +$; $K_s =$	100 (N) 100 (S) (2000.0)	3—8 5—10	$0.3\text{—}0.5^m$ для B и R 0.03^m для J , H , и K_s

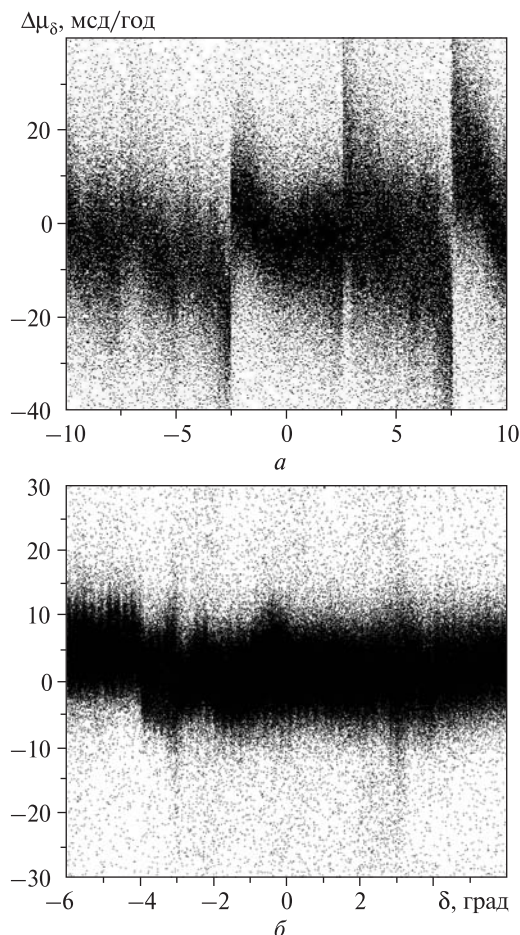


Рис. 1. Значения разности собственных движений по склонению $\Delta\mu_\delta$ для каталогов XPM – UCAC3 (а) и XPM – PPMXL (б) в площадках размером $5 \times 5^\circ$

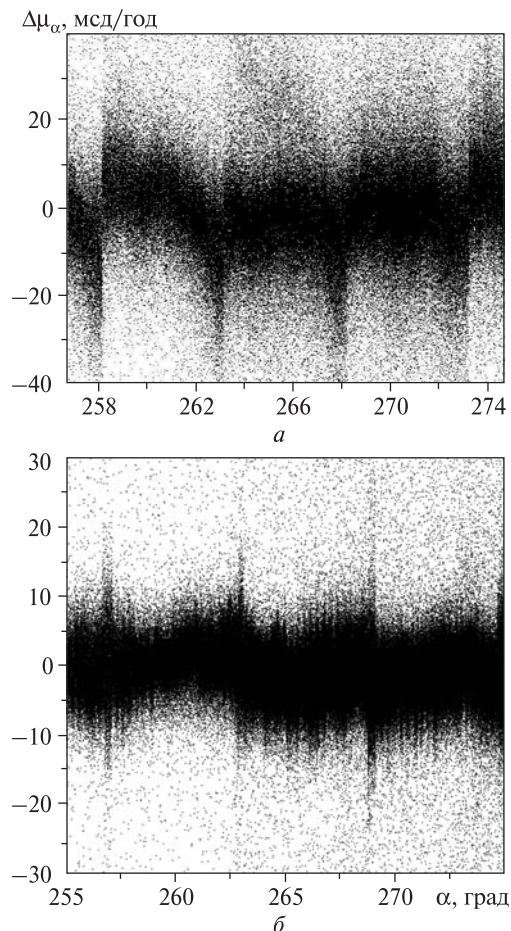


Рис. 2. Значения разности собственных движений по прямому восхождению $\Delta\mu_\alpha \cos\delta$ для каталогов XPM – UCAC3 (а) и XPM – PPMXL (б) в тех же площадках, что на рис. 1

Также хорошо видно, что и собственные движения каталога PPMXL содержат систематические искажения, хотя величина этих искажений заметно меньше, чем в UCAC-3, и достигает 5–10 мсд/год. Поля для сравнения были выбраны случайным образом. В других полях величина искажений бывает в два раза больше. Таким образом, очевидно, что систематические отклонения 5–40 мсд/год на масштабах от 5° до десятков минут есть в обоих каталогах.

В то же время из рис. 3 видно, что собственные движения XPM не имеют таких искажений, и следовательно, этот каталог как опорный является более предпочтительным при позиционных

наблюдениях объектов околоземного космического пространства и потенциально опасных астероидов.

Как описано в работах [7, 8], использование тестов с привлечением положений квазаров показало, что на уровне неопределенности порядка 0.2 мсд/год для северной полусферы и несколько хуже для южной полусферы система координат, задаваемых каталогом XPM (по крайней мере в области слабее 15^m) является кинематически не вращающейся. В то же время исследование каталогов системы HCRF показывает наличие остаточного вращения примерно 1 мсд/год. Определение параметров взаимного вращения

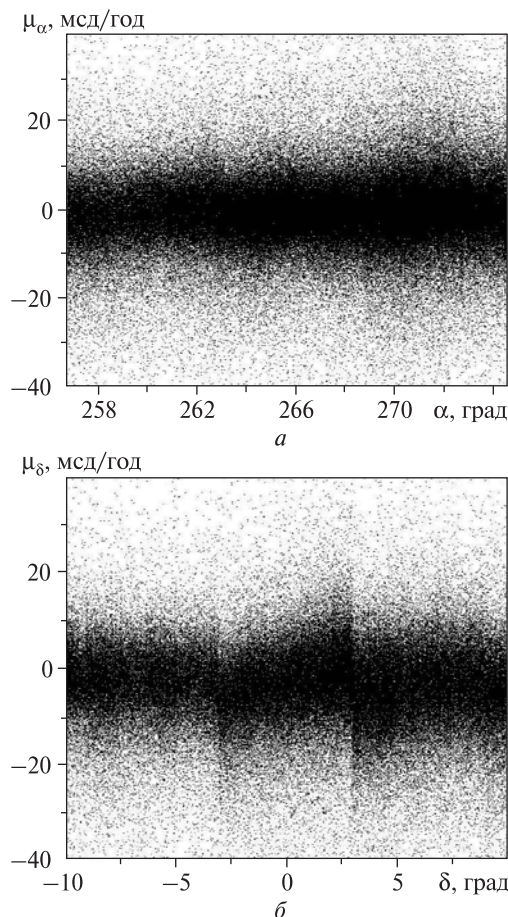


Рис. 3. Значения собственных движений $\mu_\alpha \cos \delta$ (a) и μ_δ (б) для каталога XPM в тех же площадках, что на рис. 1

было сделано в 2010 г. на основе сравнения слабых звезд XPM и UCAC2 [2]. Оценки составляющих вектора вращения составили ω_x , ω_y , $\omega_z = (-0.06 \pm 0.15, 0.17 \pm 0.14, -0.84 \pm 0.14)$ мсд/год. Отметим также оценку угловой скорости вращения системы HIPPARCOS относительно координатных систем, задаваемых эфемеридами DE403 и DE405, которая была получена в работе [4] из анализа наблюдений астероидов: $|\omega| = 0.94 \pm \pm 0.20$ мсд/год, а компоненты найденного вектора оказались равными $\omega_x = 0.12 \pm 0.08$ мсд/год, $\omega_y = 0.66 \pm 0.09$ мсд/год, $\omega_z = -0.56 \pm 0.16$ мсд/год. Этот результат вынуждает сделать вывод о том, что либо динамические теории DE403 и DE405 нуждаются в улучшении, либо система HIPPARCOS нуждается в поправке.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Созданные ПВСО в оптическом, инфракрасном и радиодиапазоне составляют метрологическую основу при решении целого ряда различных задач астрометрии, геофизики, космонавтики и других смежных наук. Приведенное сравнение опорных систем, реализованных каталогами UCAC3, PRMXL и XPM, свидетельствует о том, что на сегодняшний день наиболее точной в случайном и систематическом отношениях в оптическом диапазоне длин волн является система, задаваемая положениями и абсолютными собственными движениями каталога XPM в диапазоне от 14 до 21^m. Эта высоко плотная сетка небесных координат позволяет решать целый ряд прикладных метрологических задач, в том числе самые важные задачи координатно-временного обеспечения страны, так как все навигационные системы привязаны к звездным положениям. Кроме того, каталог XPM может быть использован как вводный каталог для будущих космических миссий, например для проекта GAIA.

1. Бобылев В. В., Бронникова Н. М., Шахт Н. А. Собственные движения 59766 звезд, абсолютизированные с использованием галактик, в 149 площадках неба (pul2) // Письма в Астрон. журн. — 2004. — **30**, № 7. — С. 519—529.
2. Бобылев В. В., Федоров П. Н., Байкова А. Т., Ахметов В. С. Определение параметров ориентации системы ICRS/UCAC2 с использованием Харьковского каталога абсолютных собственных движений звезд // Письма в Астрон. журн. — 2010. — **36**, № 7. — С. 1—8.
3. Федоров П. Н., Мызников А. А. Харьковский каталог XC1 положений и собственных движений слабых звезд в окрестностях внегалактических источников ICRF // Кинематика и физика небес. тел. — 2006. — **22**, № 4. — С. 309—320.
4. Чернетенко Ю. А. Ориентация системы каталога Hipparcos по отношению к координатным системам эфемерид DE403/LE403 и DE405/LE405 на основе наблюдений астероидов // Письма в Астрон. журн. — 2008. — **34**, № 4. — С. 266—270.
5. Arias E. F., Charlot P., Feissel M., Lestrade J.-F. The extragalactic reference system of the International Earth Rotation Service, ICRS // Astron. and Astrophys. — 1995. — **303**. — P. 604—608.
6. Fedorov P., Myznikov A. XC1 catalogue of positions and proper motions (Fedorov+, 2005) // VizieR On-line Data Catalog: I/302 (Originally published in: Kinematics

- and Physics of Celestial Bodies. Suppl. — 2005. — N 5. — P. 322—327).
7. *Fedorov P. N., Myznikov A. A., Akhmetov V. S.* The XPM Catalogue: absolute proper motions of 280 million stars // *Mon. Notic. Roy. Astron. Soc.* — 2009. — **393**. — P. 133—138.
8. *Fedorov P. N., Akhmetov V. S., Bobylev V. V., Bajkova A. T.* An investigation of the absolute proper motions of the XPM catalogue // *Mon. Notic. Roy. Astron. Soc.* — 2010. — **406**, N 3. — P. 1734—1744.
9. *Girard T. M., Dinescu D. I., van Altena W. F., et al.* The southern proper motion program. III. A near-complete catalog to $V = 17.5^m$ // *Astron. J.* — 2004. — **127**. — P. 3060—3071.
10. *Hanson R. B., Klemola A. R., Jones B. F., Monet D. G.* Lick Northern Proper Motion program: III. NPM2 Catalog // *Astron. J.* — 2004. — **128**. — P. 1430—1445.
11. *Høg E., Fabricius C., Makarov V. V., et al.* The Tycho-2 catalogue of the 2.5 million brightest stars // *Astron. and Astrophys.* — 2000. — **355**. — P. 27—30.
12. *Klemola A. R., Hanson R. B., Jones B. F.* Lick NPM program: NPM1 Catalog and its applications // *Galactic and Solar System Optical Astrometry* / Eds L. V. Morrison, G. F. Gilmore. — Cambridge: Univ. Press, 1994. — P. 20.
13. *Kovalevsky J., Lindegren L., Perryman M. A. C., et al.* The Hipparcos catalogue as a realisation of the extragalactic reference system // *Astron. and Astrophys.* — 1997. — **323**. — P. 620—633.
14. *Kuzmin A., Hoeg E., Bastian U., et al.* Construction of the TYCHO reference catalogue // *Astron. and Astrophys. Suppl. Ser.* — 1999. — **136**. — P. 491—508.
15. *Lasker B., Lattanzi M. G., McLean B. J., et al.* The second-generation guide star catalog: Description and properties // *Astron. J.* — 2008. — **136**, N 2. — P. 735—766.
16. *Ma C., Arias E. F., Bianco G., et al.* The second realization of the International Celestial Reference Frame by very long baseline interferometry // *IERS Technical Note 35* / Eds A. L. Fey et al. — Frankfurt am Main: Verlag des Bundesamts für Kartographie und Geodäsie, 2009. — 204 p. — (ISBN 3-89888-918-6, print version).
17. *Monet D. G.* The 526,280,881 objects in the USNO-A2.0 catalog // *Bull. Amer. Astron. Soc.* — 1998. — **30**. — P. 1427.
18. *Monet D. G., Levine S. E., Canzian B., et al.* The USNO-B catalog // *Astron. J.* — 2003. — **125**, N 2. — P. 984—993.
19. *Perriman M. A. C., Lindegren L., Kovalevsky J., et al.* The Hipparcos catalogue // *Astron. and Astrophys.* — 1997. — **323**, N 1. — P. 49—52.
20. *Platais I., Girard T. M., Kozhurina-Platais V., et al.* The Southern Proper Motion program. II. A catalog at the South Galactic Pole // *Astron. J.* — 1998. — **116**. — P. 2556—2564.
21. *Roeser S., Bastian U.* The Final PPM star catalogue for both hemispheres // *Bull. Inf. Cent. Donnees Astron. Strasbourg.* — 1993. — **42**. — P. 11—16.
22. *Roeser S., Demleitner M., Schilbach E.* The PPMXL catalog of Positions and Proper Motions on the ICRS. Combining USNO-B1.0 and the Two Micron All Sky Survey (2MASS) // *Astron. J.* — 2010. — **139**, N 6. — P. 2440—2447.
23. *Shulga A. V.* Features of NEO observations during the period of maximal approach to the Earth // *International Conference Asteroid-Comet Hazard: Book of abstracts.* — St. Petersburg: IAA RAS, 2009. — P. 56—59.
24. *Skrutskie M. F., Cutri R. M., Stiening R.* The Two Micron All Sky Survey (2MASS) // *Astron. J.* — 2006. — **131**, N 2. — P. 1163—1183.
25. *Rybka S. P., Yatsenko A. I.* The GPM catalog (Rybka+, 1997—2001) // *VizieR On-line Data Catalog: I/285.* (Originally published in: *Kinematics and Physics of Celestial Bodies.* — 1997. — **13**, N 5. — C. 70—74).
26. *The Hipparcos and Tycho catalogues (ESA 1997)* // *VizieR On-line Data Catalog: I/239.*
27. *Urban S. E., Corbin T. E., Wycoff G. L.* The ACT reference catalog // *Astron. J.* — 1998. — **115**, N 5. — P. 2161—2166.
28. *van Altena W. F., Girard T. M., Casetti D. I., et al.* SPM4: The Yale/San-Juan Southern Proper Motion survey: 100 million absolute proper motions // *Bol. Asoc. Argentina Astron.* — 2009. — **52**. — P. 291—294.
29. *Zacharias N., Finch C., Girard T., et al.* The Third US Naval Observatory CCD Astrograph Catalog (UCAC3) // *Astron. J.* — 2010. — **139**, N 6. — P. 2184—2199.
30. *Zacharias N., Urban S. E., Zacharias M. I., et al.* The second U. S. Naval Observatory CCD Astrograph Catalog (UCAC-2) // *Astron. J.* — 2004. — **127**. — P. 3043—3059.

Надійшла до редакції 25.10.10