

УДК 524.62-32

**Координатное и фотометрическое дополнение
к сводному каталогу GPM собственных движений
звезд относительно галактик**

С. П. Рыбка

Главная астрономическая обсерватория Национальной академии наук Украины
03680, ГСП, Киев-127, Голосиив

Координатные и фотометрические данные современных астрометрических каталогов использованы для ревизии сводного каталога GPM собственных движений звезд в 185 областях неба с галактиками. Новая версия каталога содержит 52 805 звезд до 16^m, из которых более 85 % обеспечены точными положениями и звездными величинами B, V, R, выбранными в основном из трех источников: Tycho, GSC, USNO-A2. Проведено исследование систематических и случайных ошибок использованных данных, а также выполнена их редукция в единую систему.

КООРДИНАТНЕ І ФОТОМЕТРИЧНЕ ДОПОВНЕННЯ ДО ЗВЕДЕНОГО КАТАЛОГА GPM ВЛАСНИХ РУХІВ ЗІР ВІДНОСНО ГАЛАКТИК, Рыбка С. П. — Координатні та фотометричні дані сучасних астрометричних каталогів використано для ревізії зведеного каталогу GPM власних рухів зір у 185 ділянках неба з галактиками. Нова версія каталогу містить 52 805 зірок до 16^m, з яких понад 85 % забезпечено точними положеннями та зоряними величинами B, V, R, вибраними в основному з трьох джерел: Tycho, GSC, USNO-A2. Досліджено систематичні та випадкові похибки використаних даних, а також виконано їхню редукцію до однієї системи.

POSITIONAL AND PHOTOMETRIC SUPPLEMENT TO THE COMPILED GPM CATALOGUE OF PROPER MOTIONS OF STARS REFERRED TO GALAXIES, by Rybka S. P. — Precise positions and three-color B, V, R photometric data selected from all available sources were included into the GPM catalogue. The Tycho, GSC, and USNO-A2 catalogues are the main sources. The data were investigated for systematic and random errors and reduced to a uniform system.

1. ВВЕДЕНИЕ

Предыдущая версия сводного каталога GPM собственных движений звезд в избранных областях неба с галактиками [1] составлена в ГАО НАН Украины на основе объединения данных, полученных по плану КСЗ. GPM содержал собственные движения 54 463 звезд от 8^m до 15.5^m в 185 областях неба севернее -25° по склонению. Средняя погрешность абсолютных собст-

венных движений составляла $0.008''/\text{год}$. Редукции абсолютизации получены по совокупности 550 галактик со средней погрешностью $0.003''/\text{год}$. Кроме собственных движений, в сводном каталоге имеются приближенные прямоугольные координаты звезд (погрешность $0.3'$) и фотографические величины (погрешность 0.3^m).

Новые астрометрические каталоги GSC [3] и USNO-A [4], содержащие большое количество звезд в широком диапазоне звездных величин, дали нам хорошую возможность улучшить каталог GPM, заменяя некоторые данные на более точные. Кроме того, высокоточные каталоги положений и фотометрии звезд Hipparcos и Tycho [6] позволили привести использованные данные в одну систему и оценить их точность. Таким образом, мы получили новую версию GPM, которая соответствует современным требованиям. В данной работе дается краткая характеристика исходного материала и описывается процедура построения новой версии каталога.

2. КАТАЛОГИ-ИСТОЧНИКИ

Главными источниками положений и фотометрических характеристик звезд в GPM стали четыре каталога: Tycho, GSC, USNO-A1 и USNO-A2. Основные сведения о них содержатся в табл. 1. Ниже приводится краткое описание каждого из этих каталогов.

Таблица 1. Основные источники положений и фотометрии звезд в сводном каталоге

Каталог	Количество объектов, млн	Предельная величина V	Точность положений	Точность фотометрии	Эпоха, год	Литературный источник
Tycho	1	11.5^m	$0.025''$	0.06^m	1991.25	[6]
GSC	20	16	0.30	0.15	1980.0	[3]
USNO-A1	488	20	0.25	0.25	1955.0	[4]
USNO-A2	526	20	0.25	0.25	1955.0	[4]

Каталог Tycho — это результат космической миссии спутника Hipparcos, осуществленной Европейским космическим агенством. Он содержит высокоточные астрометрические и фотометрические данные для 1 058 332 звезд. Фотометрическая система каталога задана в двух полосах B_T и V_T с эффективными длинами волн $\lambda\lambda = 428$ и 534 нм. В каталоге содержатся звезды ярче $V_T = 11.5^m$ или $B_T = 12.2^m$. Средняя погрешность определения составляет 0.074^m для B_T , 0.057^m для V_T , 0.104^m для $(B - V)_T$. Для звезд, удовлетворяющих условию $-0.2^m < (B - V)_T < 1.8^m$ (таких звезд в каталоге большинство), установлено простое соотношение между B_T , V_T и величинами B , V стандартной системы Джонсона — Моргана [6]:

$$\begin{aligned} V &= V_T - 0.09(B - V)_T, \\ B - V &= 0.85(B - V)_T. \end{aligned} \quad (1)$$

Каталог GSC версия 1.1 содержит 18 819 291 объект на всем небе от 7^m до 16^m , из которых более чем 15 млн классифицировано как звезды. Он основан на коллекции пластинок, полученных на телескопах Шмидта. Для участков севернее $+6^\circ$ по склонению были использованы пластинки Паломарского обозрения Quick V (средняя эпоха 1982 г.), для южного неба — материал Британского обозрения SERC-J (средняя эпоха 1975 г.) и его экваториальное продолжение (средняя эпоха 1982 г.). Положения звезд в GSC даны на эпоху индивидуальных пластинок в системе J2000.0. Их

точность составляет $0.33\text{--}0.76''$. Она различна в северной и южной полушере неба и зависит от звездной величины. Фотометрические характеристики звезд GSC получены в естественной системе, определяемой сочетанием «пластинка—светофильтр» (обычно V или J). Калибровка звездных величин выполнена при помощи стандартов системы B, V . Средняя погрешность звездных величин составляет 0.15^m вблизи стандартов, и 0.30^m вдали от них. Используя каталог Tycho как источник фотометрических стандартов, Фабрициус [2] определил систематические ошибки звездных величин GSC, зависящие от блеска и цвета звезд. Оказалось, что точность фотометрических характеристик после новой калибровки составляет 0.18^m для первого обозрения и 0.14^m для второго.

USNO-A версия 1.0 — это каталог 488 006 860 объектов, обеспеченных точными положениями и фотометрическими данными на всем небе. Он создан на Морской обсерватории США как результат оцифровки и обработки пластинок таких обозрений: Паломарского POSS-1, Британского SERC-J и Южно-Европейской обсерватории ESO-R. Для полей севернее -30° по склонению использовались только пластинки POSS-1. Каталог содержит прямое восхождение и южное полярное расстояние в системе J2000.0, а также голубые и красные звездные величины. Для пластинок POSS-1 фотометрическая система — это фотографическая система, определяемая эмульсиями O и E со светофильтрами. Авторы полагают, что предельная звездная величина $O = 21^m$, $E = 20^m$. Хотя каталог покрывает все небо, имеются «дыры» вблизи ярких звезд, в областях с туманностями и т. д.

Каталог USNO-A версия 2.0 содержит 526 280 881 объект. Он создан в результате повторной редукции измерений пластинок, использованных для составления USNO-A1. Главное отличие новой версии от предыдущей заключается в том, что USNO-A2 реализует систему Hipparcos, используя в качестве опорного каталога ACT [8]. Он дает положения в системе J2000.0 на среднюю эпоху наблюдения голубых и красных пластинок, а также величины B и R . Фотометрические данные приведены к инструментальной системе Tycho B_T, V_T .

3. ОТОЖДЕСТВЛЕНИЕ ЗВЕЗД СВОДНОГО КАТАЛОГА

Звезды GPM отождествлялись в выбранных каталогах Tycho, GSC, USNO-A1 и USNO-A2, а также в PPM [5] и AC 2000 [7]. Предварительно прямоугольные координаты звезд сводного каталога были преобразованы в приближенные экваториальные α и δ при помощи данных PPM. Для этой цели применялась упрощенная процедура, так как точность исходных прямоугольных координат невелика.

Поиск общих звезд осуществлялся по экваториальным координатам в пределах круга радиуса $24''$, в некоторых случаях — до $36''$. Для областей GPM $\delta > +50^\circ$ радиусы составляли $40''$ и $50''$ соответственно. Расхождение блеска не должно было превышать 2^m .

В результате 96 % звезд GPM удалось идентифицировать в других каталогах и обеспечить их, таким образом, точными координатами. Примерно для 85 % звезд есть также B, V, R -величины.

В процессе отождествления в сводном каталоге были выявлены и исключены звезды-двойники. Поэтому окончательный список GPM содержит 52 805 звезд, из которых 1868 не найдено в других каталогах. В основном это звезды $13\text{--}16^m$, расположенные вблизи Млечного Пути. Однако среди них есть и более яркие звезды. Проблему неотожествленных звезд только отчасти можно объяснить существованием «дыр» в каталогах-источниках. Низкая точность исходных координат в сводном каталоге также усугубляет эту проблему.

Таблица 2. Результаты сравнения положений звезд GSC, USNO-A1 и USNO-A2 с данными АСТ

Каталог	Количество областей	Количество звезд	$\overline{\Delta\alpha\cos\delta}$		$\overline{\Delta\delta}$		$\overline{\sigma_{\Delta\alpha\cos\delta}}$	$\overline{\sigma_{\Delta\delta}}$
			0.001"					
GSC	185	4564	+99±22		+82±20		219	237
GSC $\delta > 0^\circ$	135	3621	+10	28	+106	23	202	232
GSC $\delta < 0^\circ$	50	943	+354	57	+15	38	265	252
USNO-A1	185	3977	+183 25		+265 21		281	287
USNO-A1 $\delta > 0^\circ$	135	3119	+96	32	+273	25	285	290
USNO-A1 $\delta < 0^\circ$	50	858	+432	77	+243	45	270	279
USNO-A2	185	4354	+31 25		+5 21		251	267
USNO-A2 $\delta > 0^\circ$	135	3386	+23	32	-11	25	248	259
USNO-A2 $\delta < 0^\circ$	50	968	+52	56	+34	47	267	289

4. ИССЛЕДОВАНИЕ ТОЧНОСТИ ПОЛОЖЕНИЙ ЗВЕЗД В КАТАЛОГАХ-ИСТОЧНИКАХ

Чтобы получить независимую оценку систематических и случайных ошибок положений, выбранных из основных каталогов-источников, проведено их сравнение с данными АСТ в 185 областях неба с галактиками. Каталог АСТ содержит высокоточные собственные движения для преобладающего большинства звезд Tucho, что позволяет переводить экваториальные координаты последнего на эпоху исследуемых каталогов. Результатом сравнения являются разности прямых восхождений $\Delta\alpha\cos\delta$ и склонений $\Delta\delta$ общих звезд. Поскольку сводный каталог состоит из небольших площадок размером 2 град², систематические различия положений звезд определялись как средние для каждой из площадок. В табл. 2 приведены эти данные, усредненные по всем областям сводного каталога, а также по северному и южному небу отдельно. Кроме того, здесь содержатся величины средних квадратичных разностей положений $\sigma_{\Delta\alpha\cos\delta}$ и $\sigma_{\Delta\delta}$. Данные табл. 2 вполне могут характеризовать систематические и случайные ошибки координат исследуемых каталогов, так как их точность в Tucho на порядок выше. Поскольку систематические разности положений для USNO-A2 сравнимы с ошибками определения, то подтверждается, что положения звезд этого каталога определены в системе АСТ. Для остальных каталогов систематические разности координат в основном являются существенными, превышая ошибки их определения более чем в 3 раза. Величина таких разностей зависит от зоны склонения. Принимая во внимание высокую точность положений в Tucho, эти разности полностью обусловлены систематическими ошибками GSC и USNO-A1. Можно также сделать вывод о том, что существует общий сдвиг по обеим координатам вышеуказанных каталогов относительно системы Tucho. Для GSC он составляет $+0.10\pm 0.02''$ по α и $+0.08\pm 0.02''$ по δ , а для USNO-A1 — соответственно $+0.18\pm 0.02''$ и $+0.26\pm 0.02''$. Из табл. 2 также следует, что после учета систематических различий случайные остаточные ошибки положений составляют $0.23''$ в среднем по α и δ для GSC, и $0.28''$ для USNO-A1. Кроме того, погрешности координат в GSC для южного неба в 1.3 раза выше, чем для северного. Случайные ошибки положений USNO-A2 составляют $0.25''$.

5. ИССЛЕДОВАНИЕ ТОЧНОСТИ ФОТОМЕТРИИ ЗВЕЗД КАТАЛОГОВ-ИСТОЧНИКОВ

Для перекалибровки звездных величин каталогов GSC, USNO-A1, USNO-A2 и GPM во всех областях сводного каталога как стандарты использовались данные Tucho B_T, V_T (до $V_T = 11.5^m$), приведенные к системе B, V Джонсона

— Моргана при помощи соотношений (1). Применялось следующее уравнение:

$$m_j + \beta(B - V) - m_k = a(m_k - m_{k0}) + c, \quad (2)$$

где $m_j \equiv B_T$ или V_T , β — коэффициент уравнения цвета, $B - V$ — показатель цвета из Tycho, m_k — звездная величина из каталогов GSC, USNO-A1, USNO-A2, GPM, m_{k0} — соответствующая средняя звездная величина, a — коэффициент уравнения блеска, c — разность нуль-пунктов систем звездных величин. Величины из GSC (V_{GSC}) и красные величины из USNO-A1, USNO-A2 (R_{A1} , R_{A2}) сравнивались с V -величинами. Голубые величины из USNO-A1, USNO-A2 (B_{A1} , B_{A2}) и фотографические величины из GPM (B_{GPM}) сравнивались с B -величинами. Коэффициент β заранее вводился в уравнения (2), он вычислялся из соотношения

$$\beta = (\alpha_T + 0.09)/0.85,$$

где α_T — коэффициент уравнения цвета относительно инструментальной фотометрической системы Tycho (см. [2]). Это соотношение получено из (1). При исследовании B_{A1} и B_{GPM} полагалось, что $\beta = 0$, так как этот коэффициент неизвестен.

Уравнения (2) решались способом наименьших квадратов отдельно для каждой области неба сводного каталога. Они использовались для редукции блеска звезд исследуемых каталогов к системе B , V . В табл. 3 приведены обобщенные результаты сравнения звездных величин каталогов GSC, USNO-A1, USNO-A2 и GPM с данными Tycho. Здесь даны для всех областей средние значения коэффициентов a , c и их ошибки, ошибки единицы веса $\bar{\sigma}_0$ и значения использованного коэффициента β . Все эти величины только в целом могут характеризовать степень отклонения

Таблица 3. Значения коэффициентов связи звездных величин каталогов GSC, USNO-A1, USNO-A2, GPM с данными Tycho

Разность	Количество областей	Количество звезд	\bar{a}	\bar{c}	$\bar{\sigma}_0$	β
$V - V_{GSC}$	185	4691	-0.05 ± 0.03^m	$+0.07 \pm 0.03^m$	0.15^m	+0.17
$B - B_{A1}$	185	3645	-0.13 ± 0.07^m	-0.04 ± 0.06^m	0.22^m	0.0
$V - R_{A1}$	185	3459	-0.21 ± 0.08^m	$+0.08 \pm 0.07^m$	0.25^m	-0.23
$B - B_{A2}$	185	3956	-0.15 ± 0.07^m	-0.06 ± 0.05^m	0.22^m	+0.28
$V - R_{A2}$	185	3956	-0.21 ± 0.07^m	$+0.16 \pm 0.06^m$	0.26^m	-0.23
$B - B_{GPM}$	185	4610	-0.04 ± 0.07^m	$+0.23 \pm 0.07^m$	0.30^m	0.0

фотометрических систем каталогов от системы B , V . Случайные ошибки определения звездных величин разных каталогов, представленные в табл. 3 значениями $\bar{\sigma}_0$, соответствуют тем ошибкам, которые объявлены авторами этих каталогов. Наиболее точные фотометрические данные содержатся в GSC.

Что касается систематических ошибок, возникающих вследствие зависимости от блеска звезд и несоответствия нуль-пунктов, то они отличаются не только для разных каталогов, но и для различных областей одного каталога. Поэтому соответствующие поправки требуются для каждой области неба. Можно отметить, что среди рассматриваемых каталогов наименьшие систематические ошибки имеют фотометрические данные GSC.

Отдельные исследования были предприняты для исправления используемых звездных величин за ошибки уравнения цвета. Как видно из уравне-

ний (2), для этого требуются поправки $\Delta m_k = -\beta(B - V)$, а показатели цвета имеются только у звезд Tucho. Следовательно, звезды, которые не содержатся в этом каталоге, необходимо было обеспечить такими данными. Они вычислялись на основании разностей $(B - R)_{A2}$ голубых и красных величин USNO-A2, преобразованных к показателям цвета системы Джонсона — Моргана. Соответствующая связь была установлена по 3956 звездам, общим для каталогов Tucho и USNO-A2, из таких уравнений:

$$(B - V) - (B - R)_{A2} = d[(B - R)_{A2} - \overline{(B - R)_{A2}}] + k,$$

где d — коэффициент зависимости от цвета звезд, $\overline{(B - R)_{A2}}$ — средний показатель цвета, k — разность нуль-пунктов. Искомые неизвестные d и k были найдены из решения этих уравнений способом наименьших квадратов для каждой области неба. В целом для всех 185 областей соответствующие средние значения таковы: $\overline{d} = -0.60 \pm 0.08^m$, $\overline{k} = -0.52 \pm 0.05^m$, $\overline{(B - V)_{A2}} = 1.26^m$, а ошибка единицы веса равна 0.19^m . Последняя величина характеризует точность определения полученных вышеуказанным образом показателей цвета и дает максимальную ошибку поправки за цвет, равную 0.12^m . Это относится к звездам GSC со склонением $\delta < +6^\circ$, для которых $\beta = 0.59$.

6. СОСТАВЛЕНИЕ ДОПОЛНЕНИЙ К СВОДНОМУ КАТАЛОГУ

При создании координатной и фотометрической части GPM каталогам-источникам назначался приоритет в соответствии с точностью определения этих данных. Наивысший приоритет был придан Tucho, остальные каталоги редуцировались к его системе, используя результаты, изложенные в пп. 4 и 5. Порядок расположения каталогов в табл. 4 соответствует их приоритету. Объединенные списки координат α и δ составлялись следующим образом. Исходные положения из каталогов-источников, кроме Tucho и USNO-A2, исправлялись при помощи полученных для каждой области GPM поправок $\Delta\alpha$ и $\Delta\delta$ (см. п. 4). Если звезда была отождествлена в двух и более каталогах, то ей приписывались координаты из каталога с более высоким приоритетом. В результате 50 937 из 52 805 звезд GPM были обеспечены точными положениями на эпоху наблюдения индивидуальных каталогов-источников, равноденствие J2000. Неотождествленные звезды имеют приближенные экваториальные координаты, вычисленные по исходным прямоугольным в сводном каталоге. В табл. 4 приведено процентное отношение данных разных каталогов в объединенном списке положений. Как видно из этой таблицы, их преобладающее большинство принадлежит USNO-A2 (85.1 %). Средняя точность координат, кроме приближенных, изменяется от $0.025''$ до $0.29''$ (табл. 1 и 2).

Фотометрическая часть GPM состоит из B , V , R -величин. Величины B , V приведены к системе Джонсона — Моргана, а величины R представлены в сводном каталоге без изменений. Редукция B_T , V_T произведена при помощи соотношений (1). В остальных случаях она основывалась на

Таблица 4. Доля использованных данных из разных каталогов в GPM

Каталоги	Положения	B	V	R
Tucho	10.3 %	10.2 %	12.1 %	—
USNO-A2	85.1	85.0	—	99.7 %
GSC	0.5	—	87.9	—
USNO-A1	0.4	0.7	—	0.3
Другие	0.2	—	—	—
GPM	3.5	4.1	—	—
Общее количество звезд	52 805	52 805	45 067	48 922

поправках за уравнение блеска и различие нуль-пунктов, вычисленных для каждой области с использованием найденных значений коэффициентов a и c (см. п. 5). Согласно рекомендации Фабрициуса [2] для звезд слабее 11.5^m применялись такие же поправки, как и для 11.5^m . Это позволило избежать ошибок экстраполяции в области слабых звезд. Кроме того, когда были известны значения β , звездные величины из каталогов-источников дополнительно исправлялись за уравнение цвета.

Как и в случае с координатами, объединенные списки B , V -величин образовывались в соответствии с приоритетом каталогов-источников. Основная доля V -величин (87.9 %) принадлежит GSC, B -величин (85.0 %) — USNO-A2 (табл. 4). Список R -величин составлен практически по данным USNO-A2, вклад USNO-A1 совсем незначителен.

Как видно из табл. 1 и 3, погрешность объединенных фотометрических данных находится в пределах 0.06 — 0.30^m для B , 0.06 — 0.15^m для V и около 0.25^m для R .

7. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате отождествления звезд сводного каталога GPM в других источниках составлена его расширенная версия. Помимо абсолютных собственных движений, она содержит точные положения и B , V , R -величины. Дополнительными данными обеспечено более 85 % звезд. Координаты приведены к системе Hipparcos, B , V -величины — к системе Джонсона — Моргана. Типичная ошибка положений составляет $0.25''$, B -величин — 0.22^m , V -величин — 0.15^m , R -величин — 0.25^m .

Собранная координатная и фотометрическая информация будет использоваться при дальнейших исследованиях абсолютных собственных движений звезд сводного каталога.

1. Рыбка С. П., Яценко А. И. GPM — сводный каталог абсолютных собственных движений звезд в избранных площадках неба с галактиками // Кинематика и физика небес. тел.—1997.—13, № 5.—С. 70—74.
2. Fabricius C. A photometric calibration of the guide star catalogue // Proc. ESA Symp. 'Hipparcos-Venice 97' / Ed. B. Battick. — Noordwijk: ESA Publ., 1997.—P. 131—134.
3. Lasker B. M., Sturch C. R., McLean B. J. The guide star catalog. 1. Astronomical and algorithmic foundations // Astron. J.—1990.—99, N 5.—P. 2019—2058.
4. Pier J. R., Monet D. G. The USNO precision measuring microdensitometer project to measure the two epoch plate sets of the Palomar observatory sky survey // Workshop on Databases for Galactic Structure / Eds A. G. D. Philip, B. Hauck, A. R. Uppgren. — Schenectady: L. Davis Press, 1993.—P. 161—165.
5. Roeser S., Bastian U. The final PPM catalogue for both hemispheres // Bull. Inf. Cent. Dennes Astron. Strasbourg.—1993.—42.—P. 11—17.
6. The Hipparcos and Tycho Catalogues. — Noordwijk: ESA Publ., 1997.—Vol. 1—17.
7. Urban S. E. New reductions of the astrographic catalogue // Proc. IAU Coll. 165 / Eds I. M. Wytrzyszczak, J. H. Lieske, R. A. Feldman. — Dordrecht: Kluwer, 1997.—P. 493—497.
8. Urban S. E., Corbin T. E., Wycoff G. L. The ACT reference catalog // Astron. J.—1998.—115, N 5.—P. 2161—2166.

Поступила в редакцию 14.12.99