

УДК 52—325.2

О каталоге собственных движений звезд в избранных площадках неба с галактиками. IV

Н. В. Харченко

В рамках программы изучения главного меридионального сечения Галактики (МЕГА) создан каталог собственных движений 14 100 звезд относительно 206 галактик и их экваториальных координат в 60 площадках плана КСЗ. Данные каталога исправлены за ошибку уравнения блеска. Средняя квадратичная ошибка абсолютного собственного движения одной звезды составляет $\pm 0.010''/\text{год}$ по координате x и $\pm 0.009''/\text{год}$ по y . Описаны способ составления каталога и его структура.

ON THE CATALOGUE OF STELLAR PROPER MOTIONS IN SELECTED AREAS WITH GALAXIES. IV., by Kharchenko N. V.—In the framework of the programme of studying the main meridional cross-section of the Galaxy (MEGA) the catalogue of proper motions of 14100 stars with respect to 206 galaxies and their equatorial coordinates in 60 areas of the Catalogue of Faint Stars plan is formed. The catalogue data are corrected for the magnitude equation error. The mean-square errors of absolute proper motion of one star are $\pm 0.010''$ and $\pm 0.009''$ per year for coordinates x and y respectively. The method of the catalogue formation and its structure are described.

В рамках программы комплексного изучения главного меридионального сечения Галактики (МЕГА) предполагается создать каталоги, включающие астрометрические и астрофизические характеристики звезд [19]. В ГАО АН УССР создан каталог собственных движений μ_x , μ_y звезд относительно галактик и экваториальных координат α , δ в 60 избранных площадках, координаты центров которых и распределение по небу приведены в [17]. В основу каталога положены разработанные ранее принципы [1]: создание его на машинных носителях ЕС ЭВМ; хранение редуцированных и нередуцированных данных; определение не только абсолютных собственных движений, но и экваториальных координат.

Наблюдения и измерения. При составлении каталога использовался наблюдательный материал, полученный на двойном длиннофокусном астрографе (ДДА) ГАО АН УССР ($D=40$ см, $F=5.5$ м). Пластинки первых эпох (эмulsionии Kodak 0a-O, Agfa Astro, Ilford Zenith) снимали в 1953—1962 гг. А. В. Болбочану, И. В. Гаврилов, И. Г. Колчинский, В. С. Кислюк, Л. Н. Мизь, А. Б. Онегина, Е. М. Середа; пластиинки вторых эпох (ORWO ZU-21) — в 1981—1984 гг. автор. Практически на каждой пластинке — две экспозиции (1 ч и 5 мин). Средняя разность эпох $\Delta T=24.5$ лет.

Измерения пластинок проводились нами на координатометре «Астекорд» с автоматическим отсчетом шкал. Измерялись две звезды в круге радиуса $40'$, галактики — $50'$. Для определения звездных величин на одной из пары пластиинок оценивались в условной шкале диаметры изображений звезд при часовой экспозиции и для звезд из каталогов AGK3 [22] или SAO [23] — при пятиминутной.

Всего измерено 65 пар пластиинок, по которым определены собственные движения 14 103 звезд (15 % получены по двум парам пластиинок) относительно 206 галактик, их экваториальные координаты и звездные величины в системе IPg .

Определение относительных собственных движений звезд. Для повышения точности определения собственных движений звезд использо-

вался комплекс методов, разработанных в ГАО АН УССР [17, 18, 20, 21]. Опорные звезды определялись следующим образом. Сначала в площадке выбирались слабые звезды в интервале звездных величин $\Delta m = -2^m$. Средняя по каталогу величина опорных звезд $m_{pg} = 13.6^m$. После решения (по способу наименьших квадратов) системы линейных уравнений для опорных звезд отбрасывались звезды, для которых $|\mu| = \sqrt{\mu_x^2 + \mu_y^2} \geq 0.05''/\text{год}$. По оставшимся звездам вновь определялись постоянные пластинок и величины μ опорных звезд, после чего выборка опорных звезд разбивалась на две методом максимального правдоподобия и отбирались те звезды, которые с вероятностью более 0.5 принадлежат к выборке с меньшей дисперсией μ . Для уверенного применения метода максимального правдоподобия необходимо иметь достаточно большие выборки. Поэтому на данном этапе опорные звезды из бедных звездами площадок объединялись в одну совокупность, которая разделялась на две выборки. Звезды, принадлежащие к выборке с меньшей дисперсией μ , использовались для вывода окончательной системы постоянных пластинок. Тем самым достигался выбор в качестве системы опорных звезд кинематически однородной группы, состоящей из далеких звезд с малыми собственными движениями. Из табл. 1 следует, что, хотя среднее количество опорных звезд \bar{N} сократилось приблизительно на 40 %, ошибки единицы веса уменьшились в 1.6 раза.

Таблица 1. Средние по каталогу ошибки единицы веса постоянных пластинок (в $0.0001''/\text{год}$)

Выборки опорных звезд	\bar{N}	σ_x	σ_y
$ \mu < 0.05''/\text{год}$	137	104	91
С меньшей дисперсией μ	85	65	56

Перевод относительных собственных движений звезд в абсолютные. Собственные движения звезд были отнесены к галактикам. С окончательно определенными постоянными пластинок находились «собственные движения» галактик относительно системы опорных звезд, усреднение которых по площадке дает редукцию к абсолютным собственным движениям $R = -\mu_{\text{гал}}$.

Усреднение проводилось с помощью весов p , которые назначались с учетом точности измерений изображений галактик (на каждое изображение делалось по 30 наведений):

$$p = (0.01 / \sqrt{0.5(\sigma_x^2 + \sigma_y^2)})^2,$$

где σ_x , σ_y — средние квадратичные ошибки (с. к. о.) измеренных координат изображений галактик на паре пластинок. О разнообразии вида изображений галактик свидетельствует то, что p изменяется от 4.2 до 0.1.

Определение экваториальных координат звезд. В каталоге, как принято, приведены прямоугольные координаты x , y в минутах дуги. Кроме того, определены экваториальные координаты α , δ , при этом опорными были звезды из каталога AGK3, для южных площадок — из каталога SAO. Предполагалась линейная связь между измеренными и идеальными координатами. Экваториальные координаты даны на равноденствие 1950.0 и эпоху наблюдений пластинок первых эпох. В среднем по каталогу с. к. о. единицы веса составили по α и δ соответственно $\pm 0.29''$ и $\pm 0.28''$ для 54 северных площадок (в среднем по девять опорных звезд из AGK3); $\pm 0.47''$ и $\pm 0.62''$ для 11 южных площадок (в среднем по шесть опорных звезд из SAO).

Определение блеска звезд. Для перехода от диаметров изображений звезд к звездным величинам в системе IPg использовали данные для звезд из каталогов AGK3 и SAO. В последнем случае осуществлялся предварительный переход из системы IPv в систему IPg . Так как предельная звездная величина этих звезд составляет 11.5^m , а определяемых звезд — около $14—15^m$, то для продолжения характеристической кривой на более слабые звезды, использовались оценки диаметров изображений звезд при часовой и пятиминутной экспозициях, как это делалось при составлении каталога [15].

Для повышения точности в систематическом отношении учитывалась предварительно исследованная фотометрическая ошибка поля в зависимости от диаметров изображений звезд фотографического объектива ДДА. Эта ошибка исследовалась по четырем снимкам (ORWO ZU-21) широкоугольного фотометрического стандарта Champ 7 [4], на кото-

Суммарное уравнение блеска собственных движений из каталогов Г IV (сплошные линии) и Г II (штриховые линии)

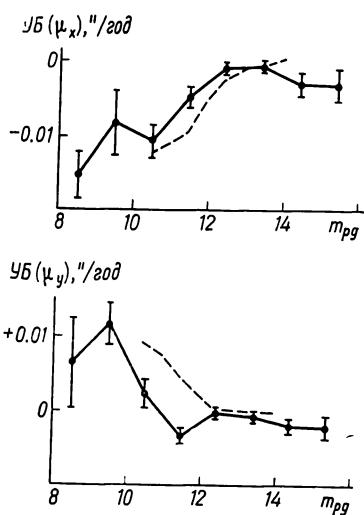
рых измерялись диаметры изображений 30 звезд в области радиуса $46'$. Для диаметров изображений ошибка поля равна нулю при расстояниях от центра пластинки $r \leq 1$ см, при $r > 1$ см диаметры уменьшаются по соотношению 0.06 [r (см) — 1]. Такое изменение диаметров приводит к искажению оценок блеска звезд на краю рабочего поля до 0.4^m , что заметно даже при тех точностях звездных величин, которые приводятся в каталогах μ .

Суммарная характеристическая кривая представлялась квадратичной зависимостью диаметров изображений звезд от их величин. Средняя по каталогу ошибка единицы веса для такой зависимости составила $\pm 0.4^m$, что характеризует точность оценок блеска звезд в случайном отношении.

Учет уравнения блеска. Уравнение блеска (УБ) собственных движений звезд учитывалось с помощью метода, разработанного в ГАО АН УССР [18]. Для каждой пары пластинок делалось по два приближения, причем использовались лишь звезды, для которых $|\mu| \leq 0.04^m/\text{год}$. На каждой паре пластинок УБ представлялось в виде линейной зависимости от блеска звезд.

Суммарное УБ по всему каталогу приведено на рисунке. Там же для сравнения дано УБ собственных движений из [15], которое определялось с применением статистических параллаксов, полученных Н. Ф. Фатчиным по пулковскому каталогу [12, 13]. Сдвиг этих зависимостей друг относительно друга по шкале звездных величин обусловлен систематическими ошибками определения блеска звезд в различных каталогах μ . В остальном вид зависимостей идентичен, поскольку они отражают постоянную (инструментальную) часть УБ для наблюдательного материала, полученного на ДДА в 1952—1963 и 1978—1984 гг. Это свидетельствует о сходимости двух методов учета УБ.

Так как новый каталог включает больше звезд, чем [15], удалось проследить УБ на большем интервале звездных величин. Более отчетливо стало видно, что инструментальная часть УБ собственных движений звезд, определенных по наблюдениям на ДДА нелинейна или может быть представлена двумя линейными зависимостями. Измене-



ние вида УБ происходит в области диаметров изображений около 100 мкм, что соответствует примерно 12^m для часовых экспозиций. При этих значениях диаметров происходит насыщение фотографического изображения звезд [3], меняется структура изображения, что приводит к изменению УБ.

Среднее по каталогу значение линейного УБ для μ_x составило $+17 \pm 4$, для μ_y равно -7 ± 3 (в 0.0001"/год).

Как и для каталога [15], УБ различно для пар пластинок, первые эпохи которых получены на пластинках Agfa Astro ($+14 \pm 5$ и -6 ± 4 в 0.0001"/год соответственно для μ_x и μ_y) и Kodak 0aO ($+30 \pm 11$ и -13 ± 6).

Оценка точности собственных движений звезд. Для оценки точности относительных собственных движений звезд нового каталога (Г IV) использовались данные AGK3 и опубликованных каталогов плана СКЗ, составленных в Голосееве (Г II) [15], Пулкове (II) [13], ГАИШ (М) [5], АИ АН УзССР (Т I и Т II) [6—10], в которых оказалось достаточно общих звезд в каждом из трех каталогов.

Рассматривались результаты сравнений четырех троек каталогов (272 звезды в 25 площадках) для оценки точности μ звезд ярче 11.5^m и семь троек (1680 звезд из 20 площадок) для звезд во всем интервале звездных величин. Каталоги, составленные в АИ АН УзССР, разбиты на две группы: Т 1 [6, 7] со средней разностью эпох около 20 лет и Т 2 [8—10] — около 30 лет.

При сравнении из разностей собственных движений $\Delta\mu_{ijk}$ в разных каталогах (i, j, k) исключались систематические различия, в том числе и взаимное УБ. Использовались звезды, для которых после исключения этих различий $\Delta\mu_{ij} \leq 0.05$ "/год и ≤ 0.1 "/год. С. к. о. μ определялись из решения систем трех уравнений вида

$$\sigma_i^2 = (\sigma_{i-k}^2 + \sigma_{i-j}^2 - \sigma_{j-k}^2)/2,$$

где

$$\sigma_{i,j-k,j}^2 = \sum_{l=1}^n (\Delta\mu_{ijk})_l^2/(n-m);$$

n — количество общих звезд в каталогах i, j, k ; m — количество связей между каталогами.

С. к. о. относительных μ из различных каталогов приведены в табл. 2. Точность собственных движений соответствует ранее опубликованным данным [11, 16]. Однако для ярких звезд точность получается такой же, как и для всех звезд, а для данных каталогов AGK3, Т I, Т II — выше по сравнению с результатами С. П. Рыбки [11]. Это связано с различным способом учета взаимного УБ каталогов в [11] и данной работе. Здесь исключалось взаимное УБ только на исследуемом интервале звездных величин. В табл. 2 в скобках приведены с. к. о. в том случае, если при сравнении μ ярких звезд учитывалось УБ, получившееся на всем интервале звездных величин. Существенным моментом является предельное значение $\Delta\mu_{ijk}$. При рассмотрении общих звезд в каталогах с $\Delta\mu_{ij} \leq 0.1$ "/год и ≤ 0.05 "/год получаются значимые различия с. к. о., особенно если последние велики.

Точность относительных μ каталога Г IV (в случайном отношении) повысилась по сравнению с данными из Г II примерно на 20 %. Частично улучшение точности связано с увеличением (приблизительно в 1.1 раза) разности эпох, остальное обеспечено применением улучшенных методов редукции.

Для оценки точности приведения относительных μ к абсолютным использовались те площадки, в которых количество галактик $N \geq 4$. В этих площадках определялась средневзвешенная квадратичная ошибка редукции. Эта оценка затем распространялась на весь каталог с

Таблица 2. Средние квадратичные ошибки относительного собственного движения одной звезды в различных каталогах (в $0.0001''/\text{год}$)

Каталог	$\Delta\mu_{ij} \leq 500$				$\Delta\mu_{ij} \leq 100$			
	По [15], все звезды		Данная работа					
	σ_x	σ_y	σ_x	σ_y	σ_x	σ_y	$m < 11.5^m$	
AGK3	—	—	—	—	—	—	—	61 (89)
Г I	73	84	—	—	—	—	—	—
Г II	91	84	93	84	104	98	—	104
Г IV	—	—	80	72	86	71	—	93
П	101	108	114	112	116	113	—	106
М	50	59	47	49	47	54	—	54
Т I	—	—	189	174	243	216	—	—
Т II	—	—	159	137	188	150	—	—
Т	167	145	—	—	—	—	—	128

учетом количества галактик и их весов в площадках. В результате получилось, что для одной площадки в среднем по каталогу σ_x равно ± 0.0060 и $\pm 0.0056''/\text{год}$ соответственно для x и y . Сравнить эти оценки с аналогичными из каталога Г II ($\pm 0.006''/\text{год}$) трудно, потому что в последнем они получены без учета весов изображений галактик. Можно считать, что точность абсолютизации в этих двух каталогах приблизительно одинакова.

Таким образом, с. к. о. абсолютного собственного движения одной звезды в каждой площадке каталога Г IV составляет $\pm 0.010''/\text{год}$ для μ_x и $0.009''/\text{год}$ для μ_y .

Структура каталога. Каталог создан и хранится на машинных носителях ЕС ЭВМ. Составлен цикл программ, позволяющий при необходимости восстановить его.

Для каждой из 65 пар пластинок приводятся следующие данные. Первая запись: номер площадки по плану КСЗ [2, 14], причем если в списке [17] площадка помечена индексом «а», то номер увеличен на 1000; координаты $\alpha_{1950.0}$, $\delta_{1950.0}$ центра площадки по [17]; количество звезд, звезд из AGK3 или SAO, галактик; разность эпох; температуры и часовые углы, при которых получены пластиинки.

Вторая запись: эпохи наблюдений пластиинок; номер звезды AGK3 или SAO, относительно которой приведены прямоугольные координаты звезд; номера пластиинок; индекс; указывающий, на какой из двух пластиинок измерялись диаметры изображений звезд; m_{pg} опорных звезд; значения УБ_{x,y} и его ошибки.

Третья запись: среднее взвешенное значение редукции к абсолютным значениям μ и (если количество галактик $N \geq 4$) их средние взвешенные квадратичные ошибки.

Записи по количеству галактик: номер галактики по NGC или IC; измеренные координаты на пластиинках обеих эпох; вес; «собственное движение» по x и y , взятое с обратным знаком; экваториальные координаты.

Записи для звезд (их количество равно числу звезд плюс число звезд из AGK3 или SAO): порядковый номер звезды, увеличенный на 1000, если она опорная; индекс, указывающий, содержится ли звезда в AGK3 или SAO; диаметр изображения; звездная величина m_{pg} ; измеренные координаты на пластиинках обеих эпох; прямоугольные координаты в минутах дуги, отсчитываемые от указанной во второй записи звезды; относительное $\mu_{x,y}$; α , δ на равноденствие 1950.0 и эпоху наблюдений пластиинки первой эпохи; номер звезды по BD, если она там содержится. Если звезда находится в каталоге AGK3 (или SAO), то для нее предусмотрена еще одна запись, включающая данные из этого

каталога. Каталог будет передан в банк данных по программе МЕГА при Астрономическом совете АН СССР, но и сейчас его копии могут быть представлены всем заинтересованным специалистам.

В настоящее время составляется сводный каталог абсолютных собственных движений звезд в области меридионального сечения Галактики, который будет включать данные из всех опубликованных каталогов плана КСЗ и AGK3 (или SAO).

1. *Верещагин С. В., Малюто В. Д., Памятных А. А. и др.* Проект организации банка наблюдательных данных по изучению меридионального сечения Галактики // Науч. информ. Астрон. совет АН СССР.—1982.—№ 51.—С. 84—91.
2. *Дейч А. Н., Лавдовский В. В., Фатчихин Н. В.* Каталог 1508 внегалактических туманностей в 157 площадках неба зоны от $+90^\circ$ до -5° склонения, избранных для определения собственных движений звезд // Изв. Глав. астрон. обсерватории в Пулкове.—1955.—20.—С. 14—46.
3. *Иванов Г. А.* Влияние «уравнения блеска» на положения звезд по наблюдениям на двойном длиннофокусном астрографе ГАО АН УССР.—Киев, 1978.—35 с. (Рукопись деп. в ВИНИТИ; № 89—79 Деп.).
4. *Казанасмас М. С., Завершнева Л. А., Томак Л. Ф.* Атлас и каталог звездных величин фотоэлектрических стандартов.—Киев: Наук. думка, 1981.—220 с.
5. *Пантелеева Л. П.* Собственные движения в 10 избранных площадках неба около внегалактических туманностей // Тр. Гос. астрон. ин-та им. П. К. Штернберга.—1973.—44.—С. 103—146.
6. *Рахимов А. Г.* Каталог абсолютных собственных движений звезд в некоторых избранных площадках неба // Циркуляр Ташкент. астрон. обсерватории.—1961.—№ 317.—С. 1—37.
7. *Рахимов А. Г.* Собственные движения звезд в 23 избранных площадках неба // Тр. Ташкент. астрон. обсерватории. Сер. II.—1964.—10.—С. 31—85.
8. *Рахимов А. Г.* Собственные движения в 25 избранных площадках неба.—Ташкент: Фан, 1975.—69 с.
9. *Рахимов А. Г.* Каталог собственных движений звезд относительно галактик в пяти пулковских площадках // Циркуляр Астрон. ин-та АН УзССР.—1976.—№ 70 (417).—С. 10—31.
10. *Рахимов А. Г.* Собственные движения звезд относительно галактик в площадках № 104, 109, 111, 113 Пулковской программы // Там же.—1977.—№ 75 (422).—С. 1—21.
11. *Рыбка С. П.* О построении сводного каталога абсолютных собственных движений звезд // Письма в Астрон. журн.—1980.—6, № 1.—С. 55—57.
12. *Фатчихин Н. В.* Вековые параллаксы звезд и скорость Солнца в пространстве по абсолютным собственным движениям звезд относительно галактик // Астрон. журн.—1973.—50, № 2.—С. 377—389.
13. *Фатчихин Н. В.* Абсолютные собственные движения 14 600 звезд в 85 площадках северного неба, полученные по галактикам на пулковском нормальном астрографе // Тр. Глав. астрон. обсерватории в Пулкове. Сер. II.—1974.—81.—С. 4—211.
14. *Фатчихин Н. В., Латыпов А. А.* Каталог галактик в зоне от -5° до -25° склонения, избранных для определения абсолютных собственных движений звезд // Циркуляр Ташкент. астрон. обсерватории.—1959.—№ 302.—С. 14—16.
15. *Харченко Н. В.* Каталог собственных движений звезд в избранных площадках неба с галактиками. II.—Киев, 1980.—152 с. (Рукопись деп. в ВИНИТИ; № 3533—80 Деп.).
16. *Харченко Н. В.* Абсолютные собственные движения звезд и пространственно-кинематические характеристики центроидов в главном меридиональном сечении Галактики: Автореф. дис. ... канд. физ.-мат. наук.—Киев, 1980.—14 с.
17. *Харченко Н. В.* Программа изучения кинематики звезд в главном меридиональном сечении Галактики // Астрометрия и астрофизика.—1983.—Вып. 49.—С. 61—65.
18. *Харченко Н. В.* Учет уравнения блеска при определении собственных движений звезд // Там же.—1984.—Вып. 52.—С. 3—8.
19. *Эйнасто Я. Э., Малюто В. Д., Харченко Н. В.* Программа главного меридионального сечения Галактики // Астрон. циркуляр.—1985.—№ 1394.—С. 1—6.
20. *Яценко А. И.* Применение математического моделирования для оценки ошибок фотографических определений собственных движений звезд.—Киев, 1982.—18 с. (Рукопись деп. в ВИНИТИ; № 1085-82 Деп.).
21. *Яценко А. И., Рыбка С. П.* К вопросу о критерии отбора опорных звезд по собственным движениям // Астрометрия и астрофизика.—1984.—Вып. 51.—С. 75—79.
22. *Diekvooss W., Heckmann O., Cox H. et al.* Star catalogue of position and proper motions north -2.5° declination.—Hamburg-Bergedorf: Bad Godesberg, 1975.—1—8.
23. *Smithsonian Star Catalogue.*—Washington: Smithsonian Inst., 1966.—Р. I—IV.