

УДК 521.95:524.6-34

## Редукция измерений пластинок программы ФОН по данным каталога АСТ (USNO)

А. И. Яценко

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

*Описана методика редукции измерений пластинок программы фотографического обзора северного неба (ФОН) с использованием каталога АСТ. При определении собственных движений звезд в качестве первых эпох использован каталог АС2000. Для определения фотометрических характеристик  $B$ ,  $B-V$ ,  $B-R$  в качестве стандартов использованы  $B_J$ -величины из каталога Тучо,  $V$ -величины из каталога GSC1.1 и  $R$ -величины из каталога USNO A2.0.*

*РЕДУКЦІЯ ВИМІРІВ ПЛАТІВОК ПРОГРАМИ ФОН ЗА ДАНИМИ КАТАЛОГА АСТ (USNO), Яценко А. І. — Описано методику редукції вимірів платівок програми фотографічного огляду північного неба (ФОН) з використанням каталогу АСТ. При визначенні власних рухів зір за перші епохи взято каталог АС2000. Для визначення фотометричних характеристик  $B$ ,  $B-V$ ,  $B-R$  як стандарти використовувались  $B_J$ -величини з каталогу Тучо,  $V$ -величини з каталогу GSC1.1 та  $R$ -величини із каталогу USNO A2.0.*

*REDUCTION OF THE MEASUREMENTS OF THE FON PROGRAM PLATES WITH THE USE OF USNO ACT DATA, by Yatsenko A. I. — The method of reduction of plate measurements within the northern sky photographic survey program (FON) is described. The ACT Reference Catalogue was employed for the reductions of positions. The  $B_J$  magnitudes from the Tycho Catalogue were used for the calibration of the measured diameters of stars. The GSC1.1 catalogue was used to determine the  $(B - V)$  colours of stars. The USNO A2.0  $R$  magnitudes were also used to determine of  $(B - R)$  colours of stars.*

### ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время закончен первый этап программы ФОН [1, 2] — обработка однократного перекрытия Северного неба, полученного на двойном широкоугольном астрографе ( $D = 40$  см,  $F = 2$  м) ГАО НАН Украины. Из полученных в 1982—1992 гг. 2300 пластинок с рабочим полем  $4^\circ \times 4^\circ$ , на автоматической измерительной машине (АИМ) ПАРСЕК [11] измерены около 1600 негативов, полностью покрывающих Северное небо для  $\delta = +2 \dots +90^\circ$ . Еще 90 негативов, полученных в 1981—1982 гг. на Китабском двойном широкоугольном астрографе ( $D = 40$  см,  $F = 3$  м), были дополнительно измерены для обеспечения зон  $\delta = -2 \dots +2^\circ$ . В качестве входного каталога для выполнения измерений в зонах от 0 до  $+30^\circ$  использовался

каталог Фресно [5] (смотри также таблицу). Первоначально он использовался и для определения собственных движений звезд. Для зон выше  $+30^\circ$  по склонению бралась московская версия астрографического каталога (АС) [3, 7] как входной каталог, а для определения собственных движений — первая версия АС, полученная в Морской обсерватории США (USNO) [13]. Вначале для редукции измерений использовался (методика описана ранее [4]) каталог PPM [10]. В результате вычислений были получены: положения, собственные движения и фотографические звездные величины, точность которых характеризовалась ошибками  $0.3''$  для координат,  $0.005''/\text{год}$  для собственных движений и  $0.2^m$  для звездных величин [1].

С получением результатов астрометрической миссии Hipparcos [12] была начата новая редукция пластинок. При этом использование каталога Hipparcos, несмотря на уменьшение количества опорных звезд примерно в три раза, привело к уменьшению ошибок привязки в полтора раза как для координат, так и для звездных величин [6]. Применение в качестве опорного каталога Tycho [12], несмотря на трехкратное увеличение числа опорных звезд по сравнению с PPM, не дало увеличения точности привязки положений вследствие недостаточной точности собственных движений.

С осени 1997 г., после появления двух новых каталогов USNO: AC2000 [15], содержащего положения звезд всех зон программы «карта неба» в системе каталога Hipparcos; а также каталога АСТ [14], представляющего собой версию каталога Tycho, улучшенную за счет повышения точности собственных движений, предпринята новая редукция всех пластинок с каталогом АСТ.

#### ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ КАТАЛОГИ И ОТОЖДЕСТВЛЕНИЕ ЗВЕЗД

Большое количество звезд из АСТ, попадающих на поле пластинок ФОН (от 200 до 1000), наличие точных положений, собственных движений и фотометрии делают этот каталог наиболее пригодным для редукции наших измерений. Каталог AC2000 выбран в качестве первой эпохи для вывода

Некоторые характеристики использованных каталогов

Каталог	Автор	Количество объектов, млн	Эпоха наблюдений	Ошибки координат	Ошибки собственных движений, $''/\text{год}$	Ошибки звездных величин	Интервал склонений	Использование
АС	Fresneau, 1983 [5]	1	1891—1935	$0.4''$	—	$0.4^m$	$1-31^\circ$	Входной каталог, источник первых эпох
АС-GSC	Кузьмин и др., 1996 [7]	4	1891—1950, 1982	$0.2-0.4$	0.003	$>0.5$	Все небо	Входной каталог
АС USNO	Urban et al., 1996 [13]	2.5	1891—1950	0.3	—	0.7	$-40...+65^\circ$	Входной каталог, источник первых эпох
PPMN	Roeser, Bastian, 1989 [10]	0.2	1931	0.3	0.004	0.2	Северное небо	Опорный каталог
АСТ	Urban et al., 1997 [15]	1	1991	0.03	0.003	0.07	Все небо	Опорный каталог
АС2000	Urban et al., 1997 [14]	4.6	1891—1950	$0.15-0.30$	—	0.5	Все небо	Источник первых эпох
USNO A2.0	Monet et al., 1998 [9]	526	1950—1958	0.25	—	0.25	Все небо	Источник В, R-величин
GSC1.1	Lasker et al., 1990 [8]	18	1982	$0.3-1.2$	—	$0.13-0.18$	Все небо	Источник V-величин

собственных движений звезд. Значения  $B$ -величин в системе Джонсона взяты из каталога Tycho. Для вывода показателей цвета  $B - V$  звезд привлечены данные каталога GSC1.1 [8]. Каталог USNO A2.0 [9] использовался как источник дополнительных данных об  $B$ - и  $R$ -полосах. Полный список использованных каталогов и их основные характеристики приведены в таблице.

Прежде всего необходимо было решить задачу отождествления звезд. Отождествление выполнялось сравнением экваториальных координат и блеска звезд программы ФОН, полученных после предварительной редукции по каталогу PPM, с каталожными данными. Сравнение с каждым из каталогов имеет свои особенности. Так, AC2000 является довольно простым объектом отождествления, поскольку входной список измерений создавался, как уже упоминалось, на основе AC в различных версиях. Однако всем версиям AC характерны довольно грубые оценки звездных величин. С другой стороны, разность эпох между AC и нашими наблюдениями составляет примерно 70 лет. Это для звезд с большими собственными движениями существенно затрудняет поиск, поскольку собственные движения известны лишь для 25 % звезд AC (ACT, Tycho).

Отождествление с ACT практически не вызывает затруднений благодаря наличию в нем высокоточных положений, собственных движений и  $B$ -величин.

При отождествлении с A2.0 необходимо учитывать то обстоятельство, что глубина этого обзора по  $B$  значительно больше, чем для программы ФОН (примерно 14.2—14.8<sup>m</sup> для самых слабых звезд), и поэтому необходимо следить за совпадением не только координат, но и звездных величин. Поскольку в A2.0 приводятся  $B$ -величины, достаточно точные в случайном отношении, удастся найти почти все звезды программы ФОН в данном каталоге.

При отождествлении с GSC1.1 возникают некоторые затруднения. Известно, что координаты звезд, попадающих на края или в углы пластинки телескопа Шмидта, отягощены большими ошибками, зависящими от звездной величины (1—2"). С другой стороны, в этом каталоге в большей части оценки звездных величин соответствуют  $V$ -полосе. Учитывая, что в большинстве случаев величина  $B - V$  изменяется от  $-0.7^m$  до  $+2.0^m$  необходимо огрублять критерий совпадения звездных величин. GSC также имеет намного большую глубину чем ФОН, отсюда появляется возможность неправильного отождествления, особенно для звезд, попадающих на края и углы пластинок телескопа Шмидта.

Практически для всех каталогов использовалась одна и та же процедура отождествления. С использованием собственных движений звезд, полученных из сравнения положений ФОН и AC2000, положения звезд из каталога ФОН приводились на эпоху одного из перечисленных выше каталогов. Отсортированные по прямому восхождению списки сравнивались друг с другом. Объекты, координаты и звездные величины которых совпадали в пределах заданного минимального допуска, считались отождествленными и помечались. Затем величина допуска увеличивалась на величину минимального значения и снова производился поиск среди еще неотожествленных объектов. Полная процедура отождествления выполнялась за десять шагов, а величина минимального допуска бралась такой, чтобы максимальная область поиска составляла 1" для координат и 1<sup>m</sup> для звездных величин. В среднем результаты отождествления выглядят следующим образом: 22 % звезд программы ФОН найдены в каталоге ACT, 90 % — в GSC 1.1 и 92 % — в A2.0. Мы не стремились увеличить процент отождествления объектов для глубоких обзоров, поскольку чем слабее звезды, тем выше вероятность неправильного отождествления.

## РЕДУКЦИЯ ИЗМЕРЕНИЙ

Процедура редукции пластинок с использованием каталога PPM была описана ранее [4]. По результатам этой редукции строились абберрационные маски для измеренных координат звезд на пластинках программы ФОН в зависимости от положения и звездной величины (в основном это ошибки типа уравнения блеска и комы). Для построения масок использовались данные каталога GSC1.1 [1].

В отличие от прежней схемы, редукция с каталогом АСТ производилась отдельно для длинной и короткой экспозиции. Это связано с тем, что количество опорных звезд является достаточным для отдельной редукции. Поскольку модель пластинки была уже довольно хорошо изучена из предыдущей редукции, исследование вида редукционного полинома с помощью ортогонализации Грамма—Шмидта и оценки значимости членов разложения были заменены решением стандартных для всех снимков систем условных уравнений вида

$$\begin{aligned} ax + by + c + dx^2 + exy + f(m - m_0) + g(m - m_0)x &= \xi, \\ a'x + b'y + c' + d'y^2 + e'xy + f'(m - m_0) + g'(m - m_0)y &= \eta, \end{aligned} \quad (1)$$

где  $x, y$  — измеренные координаты звезд на пластинке;  $\xi, \eta$  — тангенциальные координаты звезд на эпоху наблюдений, полученные по каталогу АСТ;  $m$  и  $m_0$  —  $B$ -величины звезд и их средние значения;  $a, b, \dots, g'$  — постоянные редукции. Средние квадратичные ошибки единицы веса составляют в среднем по всем пластинкам  $0.25''$  для длинной экспозиции и  $0.3''$  для короткой. В качестве окончательных координат звезд, для которых измерялись два изображения (это в основном звезды списка каталога PPM), принимались средневзвешенные значения с весами, определяемыми ошибками единицы веса решения уравнений (1) для длинной и короткой экспозиций. Собственные движения звезд вычислены из сравнения полученных нами координат с положениями из каталога АС2000, взятого в качестве наблюдений первых эпох.

## ФОТОМЕТРИЯ

Для привязки измеренных диаметров к шкале звездных величин использовались  $B_J$ -величины из каталога Tycho. Дополнительно для калибровки объектов от  $12^m$  до  $14.5^m$  использовались данные каталога А2.0. Эти величины предварительно переводились в систему  $B_J$ :

$$B_{UJ} = B_U + a + b(B_U - B_0) + c(B_U - R_U), \quad (2)$$

где  $B_{UJ}$  —  $B$ -величины USNO, переведенные в систему Джонсона;  $B_U, R_U$  — звездные величины, взятые из каталога А2.0;  $B_0$  — среднее значение для  $B_U$ -величин;  $a, b, c$  — коэффициенты связи, найденные по общим для АСТ и А2.0 звездам. Уравнение связи для измеренных диаметров звезд длинной экспозиции и звездных величин имело вид

$$a_0 + a_1(D - D_0) + a_2(D - D_0)^3 + a_3x + a_4y + a_5|x| + a_6|y| = B_J. \quad (3)$$

Здесь  $a_i$  ( $i = 0, \dots, 6$ ) — искомые коэффициенты связи. Средние квадратичные ошибки единицы веса решения условных уравнений типа (3) составили в среднем по всем пластинкам  $0.2^m$ . Короткие экспозиции не использовались для определения звездных величин. Каталог GSC1.1 был использован для определения показателей цвета  $B - V$ . Поскольку  $V$ -величины в GSC приводятся в различных полосах пропускания (от  $B$ - до  $V$ -полосы, в зависимости от использованной при фотографировании комбинации сорта

пластинки и фильтра), они приводились к системе  $V_J$ , взятых из каталога Tycho, согласно формуле:

$$V_{(GSC)J} = V_{GSC} + a + b(V_J - V_0) + c(B - V), \quad (4)$$

где неизвестные коэффициенты связи  $a$ ,  $b$ ,  $c$  определялись отдельно для различных полос пропускания GSC. В случае когда полоса пропускания для звезды совпадала с  $B$ -полосой,  $V_{(GSC)J}$  не определялась.

Аналогичным образом  $R$ -величины из A2.0 были использованы для определения показателей цвета  $B - R$ . С целью улучшения  $R$ -системы и редукции ее на фотометрическую систему Джонсона использовалась Голо-сивская база данных для звезд с большими собственными движениями, созданная Г. А. Ивановым по литературным источникам.

1. *Иванов Г. О., Кислюк В. С., Пакуляк Л. К. та ін.* Програма фотографічного огляду північного неба. Перші результати // Кинематика и физика небес. тел.—1994.—10, № 1.—С. 48—50.
2. *Колчинский И. Г., Онегина А. Б.* О программе фотографирования неба широкоугольными астрографами // Астрометрия и астрофизика.—1979.—Вып. 39.—С. 57—62.
3. *О четырехмиллионном каталоге звезд* / Под ред. А. П. Гуляева, И. И. Нестерова. — М.: Изд-во Моск. ун-та, 1992.—72 с.
4. *Яценко А. И.* Определение координат и собственных движений звезд по пластинкам программы ФОН // Кинематика и физика небес. тел.—1991.—7, № 4.—С. 56—60.
5. *Fresneau A.* Survey of the Astrometric Catalogue from 1 to 31 degrees of the Northern declination // *Astron. J.*—1983.—88, N 9.—P. 31—33.
6. *Kislyuk V., Yatsenko A., Yatskiv Y.* Project FON in Post-Hipparcos Era // Reference systems and frames in the space era: present and future astrometric programmes: Proc. JOURNEES 1997 “Systemes de reference spatio-temporels” / Eds J. Vondrak, N. Capitaine. — Prague, 1998.—P. 235.
7. *Kuzmin A., Nesterov V., Gulyaev A., et al.* Completion of the Sternberg Astronomical Institute Astrometric Catalogue project. // New Horizons from Multi-Wavelength Sky Surveys: IAU Symp. N 179, August 26—31, 1996, Baltimore, USA / Eds B. McLean, D. Golombek, J. Hayes, H. Payne. — Dordrecht: Kluwer, 1996.—P. 409.
8. *Lasker B. M., Sturch C. R., McLean B. J., et al.* The Guide Star Catalog. // *Astron. J.*—1990.—99, N 6.—P. 2019—2058.
9. *Monet D., Bird A., Canzian B., et al.* USNO-A 2.0 Version. A Catalog of Astrometric Standards. — United States Naval Observatory, September 1998.—CD-ROM distribution.
10. *Roeser S., Bastian U.* PPM. Positions and proper motions of 181731 stars north of  $-2.5$  degrees declination, for equinox and epoch J2000. — Heidelberg: Astron. Rechen-Inst., 1989.—27 p.
11. *Sergeev A. V., Sergeeva T. P., Riabokon A. V.* Introduction into experimental operation of four automatic measuring machines PARSEC // *Astrophys. and Space Sci.*—1991.—177.—P. 329.
12. *The Hipparcos and Tycho Catalogues.* — Noordwijk: ESA publ., 1997.—Vol. 1—17.
13. *Urban S. E.* Astrometric Catalogue as Reduced to ACRS. Data from the Vatican, Uccle, Oxford 1, Oxford 2, Paris, Bordeaux, Toulouse, Algiers, San Fernando and Cape zones. — United States Naval Observatory, May 1996.—CD-ROM Version 1.3.
14. *Urban S. E., Corbin T. E., Wycoff G. L.* The ACT Reference Catalog // *Astron. J.*—1998.—115, N 5.—P. 2161—2166.
15. *Urban S. E., Corbin T. E., Wycoff G. L., et al.* The AC2000: The Astrometric Catalogue on the system defined by the Hipparcos Catalogue // *Astron. J.*—1998.—115, N 3.—P. 1212—1223.

Поступила в редакцию 17.01.00