

УДК 521.95

**В. Н. Андрук<sup>1</sup>, В. В. Головня<sup>1</sup>, Г. А. Иванов<sup>1</sup>, Е. М. Ижакевич<sup>1</sup>,  
Л. К. Пакуляк<sup>1</sup>, Ю. И. Процюк<sup>2</sup>, С. В. Шатохина<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Главная астрономическая обсерватория Национальной академии наук Украины  
ул. Академика Заболотного 27, Киев, 03680  
andruk1058@ukr.net, svetash@mao.kiev.ua

<sup>2</sup> Научно-исследовательский институт «Николаевская астрономическая обсерватория»  
Госинформнауки Украины  
ул. Обсерваторная 1, Николаев, 54030  
procsys@gmail.com

### **Каталог экваториальных координат и $V$ -величин звезд околополюсной области программы ФОН**

*Для околополюсной области (от 58 до 90 ) программы ФОН в рамках работ по рациональному использованию накопленных ресурсов Объединенного цифрового архива Украинской виртуальной обсерватории создан каталог экваториальных координат , и  $V$ -величин звезд. Количество обработанных пластинок равно 477. Оцифровка астро-негативов осуществлялась с помощью сканеров Microtek ScanMaker 9800XL TMA и Epson Expression 10000XL, режим сканирования — 1200 dpi, размер пластинок — 30 30 см, или 13000 13000 пкл. Каталог содержит 1 975 967 звезд и галактик до  $V = 16.5^m$  на эпоху 1985.28 г. Координаты звезд и галактик получены в системе каталога «Tycho-2»,  $V$ -величины — в системе фотоэлектрических стандартов. Внутренняя погрешность каталога для всех объектов составляет  $\alpha = 0.23''$  и  $\delta = 0.12''$ , а для звезд в интервале блеска  $V = 8^m \dots 14^m$  —  $0.11''$  и  $0.06''$  соответственно. Сходимость между вычисленными нами и опорными положениями составляет  $\alpha = 0.06''$  (для 171 124 звезд каталога «Tycho-2»), а сходимость с фотоэлектрическими звездными  $V$ -величинами равна  $V = 0.15^m$  (для 5 130 звезд). Ошибки по отношению к каталогу UCAC-4 равны  $\alpha = 0.33''$  (отождествилось 1 928 367 звезд и галактик).*

**КАТАЛОГ ЕКВАТОРІАЛЬНИХ КООРДИНАТ ТА  $V$ -ВЕЛИЧИН ЗІР  
НАВКОЛОПОЛЮСНОЇ ОБЛАСТІ ПРОГРАМИ ФОН, Андрук В. М.,  
Головня В. В., Иванов Г. О., Іжакевич О. М., Пакуляк Л. К., Про-  
цюк Ю. І., Шатохіна С. В. — Для навколополюсної області (від 58 до**

90) програми ФОН в рамках робіт з раціонального використання накопичених ресурсів ОЦА (Об'єднаний цифровий Архів) УкрВО в ГАО НАН України створено каталог екваторіальних координат, та  $B$ -величин зір. Кількість оброблених платівок становить 477. Оцифрування астронегативів виконано з допомогою сканерів Microtek ScanMaker 9800XL TMA та Epson Expression 10000XL, режим сканування — 1200 dpi, розмір платівок — 30 30 см або 13000 13000 пкл. Каталог включає 1 975 967 зір та галактик до  $B = 16.5^m$  на епоху 1985.28 р. Координати зір та галактик отримано в системі каталога «Tycho-2»,  $B$ -величини в системі фотоелектричних стандартів. Внутрішня точність каталога для всіх об'єктів становить  $\sigma_B = 0.23''$  та  $\sigma_B = 0.12^m$  (для зірок в інтервалі  $B = 8^m \dots 14^m$  похибки дорівнюють  $\sigma_B = 0.11''$  та  $\sigma_B = 0.06^m$ ) для екваторіальних координат і зоряних  $B$ -величин відповідно. Узгодженість нами обчислених координат з опорною системою становить  $\sigma_B = 0.06''$  (для 171 124 зір «Tycho-2»), а сходиність з фотоелектричними зоряними  $B$ -величинами дорівнює  $\sigma_B = 0.15^m$  (для 5130 зір). Похибки відносно каталога UCAC-4 складають  $\sigma_B = 0.33''$  (ототожнилось 1 928 367 зір та галактик).

CATALOG OF POSITIONS AND  $B$  MAGNITUDES OF STARS IN THE CIRCUMPOLAR REGION OF NORTHERN SKY SURVEY (FON) PROJECT, by Andruk V. M., Golovnia V. V., Ivanov G. A., Yizhakevich E. M., Pakuliak L. K., Protsyuk Yu. I., Shatokhina S. V. — For the circumpolar region (from 58 to 90 degrees) of Northern Sky Survey project the catalog of star positions and  $B$ -magnitudes has been created under the motto of the rational use of resources accumulated in UkrVO JDA (Joint Digital Archive) in MAO NASU. The total amount of processed plates is 477. Digitizing of astronegatives has been carried out with the help of Microtek ScanMaker 9800XL TMA and Epson Expression 10000XL scanners, with the scanning mode — 1200 dpi, the linear size of the plates — 30 30 cm or 13000 13000 px. The catalog contains 1 975 967 stars and galaxies with  $B = 16.5^m$  for the epoch of 1985.28. The coordinates of stars and galaxies were obtained in the Tycho-2 reference system, and  $B$ -value in the system of photoelectric standards. The internal accuracy of the catalog for all the objects is  $\sigma_B = 0.23''$  and  $\sigma_B = 0.12^m$  (for stars in the range of  $B = 8^m \dots 14^m$  errors are  $\sigma_B = 0.11''$  and  $\sigma_B = \pm 0.06^m$ ). Convergence between the calculated and reference positions is  $\sigma_B = 0.06''$  (for 171 124 stars from Tycho-2), and the convergence with photoelectric stellar  $B$ -magnitudes is  $\sigma_B = \pm 0.15^m$  (for 5130 stars). External accuracy from the comparison with UCAC-4 is  $\sigma_B = \pm 0.33''$  (1 928 367 stars and galaxies were cross identified).

**Введение.** На основании обработки 477 оцифрованных пластинок получены каталог положений и  $B$ -величин звезд и галактик околополюсной области от 58 до 90 программы ФОН [8, 11]. Работа выполнена с

использованием накопленных ресурсов Объединенный цифровой архива Украинской виртуальной обсерватории [5, 21]. Для отдельных зон, высотой  $\pm 2^\circ$  от центра, реализован принцип двухкратного перекрытия по склонению, а в пределах зон перекрытие выполнено со смещением центров относительно друг друга примерно на  $4^\circ/\cos$  по прямому восхождению. Центры соседних зон отстоят друг от друга на  $\approx 4^\circ$ , количество пластинок в них равно: зона 88 — 8, зона 84 — 25, зона 80 — 24, зона 76 — 53, зона 72 — 51, зона 68 — 58, зона 64 — 50, зона 60 — 102, зона 56 — 106. Пластины были экспонированы на телескопе ДША ГАО НАН Украины ( $D = 40$  см,  $F = 2$  м,  $103$  /мм). Размер большинства пластинок составляет  $30 \times 30$  см (или  $8 \times 8$ ). Все пластины сканированы с пространственным разрешением 1200 dpi на сканерах Microtek ScanMaker 9800XL TMA или Epson Expression 10000XL, размер обрабатываемых полей — до  $13000 \times 13000$  пкл ( $1$  пкл =  $2.17$ ). Версия каталога получена из обработки одиночных сканов без поворота пластинок на  $90^\circ$ , что позволило сэкономить ресурсы в два раза для хранения и обработки информации без ущерба для точности полученных результатов. Тестирование сканеров, принципы и этапы обработки оцифрованных астронегативов изложены в серии работ [1—3, 6, 17—19], а тестирование программного обеспечения с получением конкретных результатов см. в работах [7, 10, 12, 16, 20, 22].

#### *Астрометрическая редукция в систему каталога «Tycho-2».*

Для всех сканов пластинок с размером полей до  $8 \times 8$ , как на этапе диагностирования систематических ошибок сканера и , так и на этапах редукции прямоугольных координат  $X, Y$  объектов в систему экваториальных координат , каталога «Tycho-2» тангенциальные координаты , вычислялись согласно решениям методом наименьших квадратов уравнений

$$\begin{aligned} & a_1 + a_2 X_i f_{1/2i} + a_3 Y_i f_i + a_4 R_i m_i + a_5 f_{1/2i} + b_{lm} X_i^l Y_i^m, \\ & c_1 + c_2 X_i f_{1/2i} + c_3 Y_i f_i + c_4 R_i m_i + c_5 f_{1/2i} + d_{lm} X_i^l Y_i^m, \end{aligned} \quad (1)$$

$$l = 0 \dots 6, m = 0 \dots 6, l + m = n, n = 1 \dots 6,$$

где  $i = 1, 2, \dots, N$  — количество звезд каталога «Tycho-2» на пластинке,  $X_i, Y_i$  и  $R_i$  — координаты и расстояние изображений звезд относительно центра пластинки,  $m_i$  — инструментальные фотометрические величины звезд,  $f_{2i}$  — диаметры изображений звезд ( $FWHM$ ); коэффициенты  $a_2, a_3, a_4$  и  $c_2, c_3, c_4$  описывают кому,  $a_5, c_5$  — учитывают влияние уравнения блеска (вычислялись отдельно); коэффициенты полного полинома шестой степени (27 членов)  $b_{lm}$  и  $d_{lm}$  в обобщенном случае описывают аберрации оптики телескопа, отягощенными систематическими ошибками сканеров.

**Фотометрическая редукция в систему фотометрических В-величин.** В качестве фотометрических стандартов для построения

характеристических кривых отдельных астронегативов использовались фотоэлектрические  $B_{pe}$ -величины звезд из каталогов [9, 15]. Этапы и принципы построения характеристической кривой астронегатива с учетом фотометрической ошибки поля и с использованием информации о двух экспозициях описаны в работах [3, 4, 11]. Аппроксимация характеристических кривых и получение фотографических  $B_{ph}$  ( $B = B_{ph}$ ) величин звезд для всех 477 пластинок выполнена решением методом наименьших квадратов систем уравнений

$$B_i = e_1 + e_2 X_i + e_3 Y_i + e_4 R_i + e_5 R_{i2} + e_6 R_{i4} - f_n m_i^n, \quad (2)$$

$$n = 1, 2, \dots, 5,$$

где  $i = 1, 2, \dots, N$  — количество фотоэлектрических определений для стандартных звезд на пластинке;  $X_i, Y_i$  и  $R_i$  — координаты и расстояние изображений звезд относительно центра пластинки;  $m_i$  — инструментальные фотометрические величины звезд; коэффициенты  $e_2 — e_6$  описывают фотометрическое уравнение поля (фотометрическую ошибку), а коэффициенты  $f_1 — f_5$  соответствуют функциональному описанию самого вида характеристических кривых. Данный вид формулы (2) выбран как оптимальный в смысле минимизации фотометрических ошибок редукции в систему  $B_{pe}$  фотоэлектрических стандартов.

**Алгоритм построения каталога.** При создании каталога реализованы следующие этапы.

1. Оцифровка астронегативов на сканерах Microtek ScanMaker 9800XL TMA и Epson Expression 10000XL, режим сканирования — 1200 dpi.

2. Преобразование файлов из формата tiff в формат fits при помощи пакета GIMP.

3. Вычисление в среде MIDAS/ROMAFOT прямоугольных координат  $X, Y$  и фотометрических инструментальных величин  $m, f_2$  и пр. для всех зарегистрированных на астронегативе объектов.

4. Астрометрическая редукция для всех объектов в систему экваториальных координат , каталога «Tycho-2» на эпоху экспонирования пластинок.

5. Фотометрическая редукция инструментальных звездных величин  $m$  в систему фотоэлектрических  $B_{pe}$ -величин.

6. Вычисление средних значений экваториальных координат , и  $B$ -величин звезд и галактик в пределах перекрывающихся по сканов для отдельных зон. Отбраковка артефактов.

7. Усреднение значений экваториальных координат , и  $B$ -величин звезд и галактик в зонах перекрытия.

8. Составление каталога положений , и  $B$ -величин звезд и галактик и его дополнение данными о собственных движениях , из каталога UCAC4.

Относительно отдельных этапов создания каталога сделаем некоторые замечания. Режим сканирования 1200 dpi выбран как оптималь-

ный для достижения хорошей точности результатов фотографической астрометрии и фотометрии при приемлемых временных и ресурсных затратах обработки и хранения информации с астронегативов. Под обработкой понимаем получение для всех зарегистрированных на оцифрованных пластинках объектов их прямоугольных координат  $X$ ,  $Y$  и фотометрических характеристик: инструментальных звездных величин  $m$ , диаметров изображений  $f_2$ , интенсивностей в центрах изображений  $I_c$  и пр. Обработка сканов реализована в пакете MIDAS/ROMAFOT, фотометрическое выравнивание сканов сделано за счет учета вычисленного индивидуального плоского поля для каждой отдельной пластинки [12, 13]. Количество зарегистрированных объектов для астронегативов, экспонированных в областях Млечного Пути, достигало 300 000, а всего на 477 обработанных пластинках было около 25.933 млн объектов различной природы. Экваториальные координаты  $\alpha$ ,  $\delta$  для всех объектов получены на эпохи экспонирования отдельных пластинок в системе каталога «Tycho-2». Как правило, редукция была сделана для полных полей пластинок размером  $8 \times 8$  , исключение составили астронегативы высокоширотных зон ( $84^\circ$  и  $88^\circ$  ) с гораздо меньшими размерами обработанных полей. Фотографические  $B_{ph}$ -величины объектов получены на основании формул вида (2) для характеристических кривых астронегативов, калиброванных фотоэлектрическими звездными  $B_{pe}$ -величинами.

На первом этапе создания каталога было сделано усреднение вычисленных координат и  $B$ -величин звезд и галактик в пределах перекрытий полей пластинок по отдельным зонам (перекрытие по  $\alpha$  ). В каталог вошли те объекты, которые были зарегистрированы хотя бы на двух пластинках (соответственно были измерены и получены их координаты и звездные величины как отождествленных объектов). Составление списка объектов из звезд и галактик осуществлялось по следующим критериям:

- 1) по экваториальным координатам расхождение не превышало  $2.17''$  (1 пкл  $2.17''$  );
- 2) по звездным величинам разность составляла не более  $\pm 2^m$  (учет переменных звезд).

Ошибки  $\sigma_\alpha$ ,  $\sigma_\delta$  и  $\sigma_B$  экваториальных координат и  $B$ -величин звезд и галактик для  $k$  измерений были вычислены по формулам

$$\sigma_\alpha = \frac{(\sigma_{k\alpha} - \sigma_c)^2}{k(k-1)}^{1/2}, \quad \sigma_\delta = \frac{(\sigma_{k\delta} - \sigma_c)^2}{k(k-1)}^{1/2}, \quad \sigma_B = \frac{(B_k - B_c)^2}{k(k-1)}^{1/2}. \quad (3)$$

На рис. 1 показана зависимость внутренних ошибок  $\sigma_\alpha$ ,  $\sigma_\delta$  и  $\sigma_B$  определения экваториальных координат и  $B$ -величин отождествленных объектов от звездной величины  $B$  для девяти околополюсных зон программы ФОН. Для каждой зоны на панелях указано количество обработанных пластинок  $k_p$ , количество отождествленных (от двух и более раз) объектов (звезд и галактик)  $n_i$  в перекрывающихся по  $\alpha$  участ-

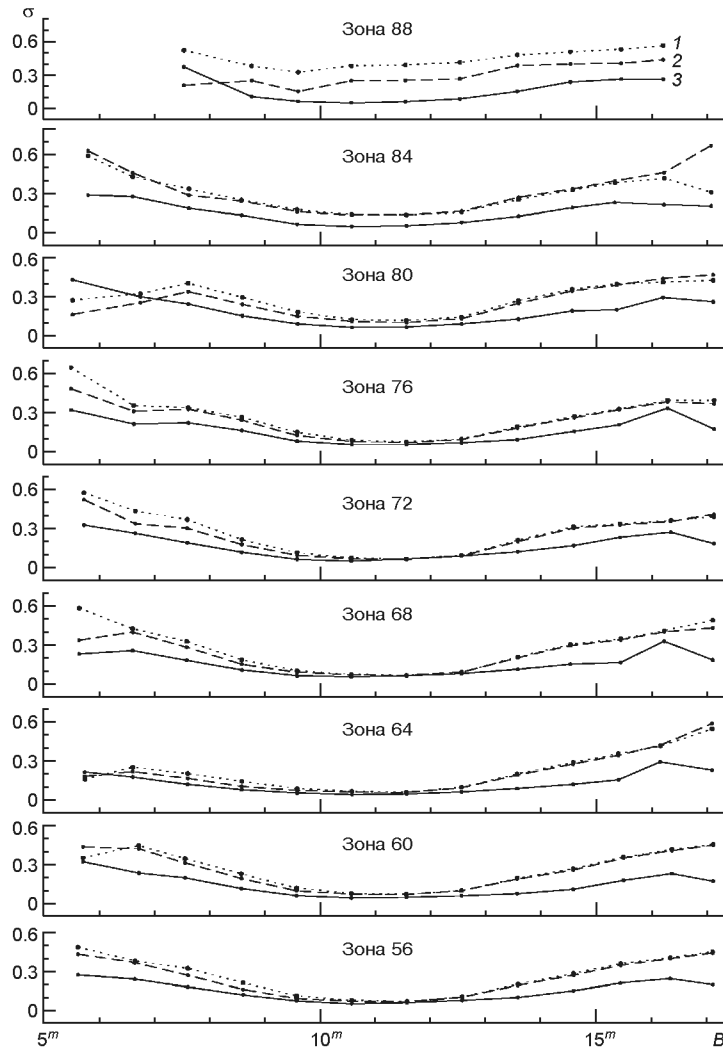


Рис. 1. Зависимость внутренних ошибок определения экваториальных координат (пунктирные кривые 1), (штриховые кривые 2) и  $B$ -величин  $B$  (сплошные кривые 3) отождествленных объектов от значения звездной величины  $B$  для девяти околополюсных зон программы ФОН. Для каждой зоны ниже в таблице указано количество  $k_p$  обработанных пластинок, количество  $n_i$  отождествленных (от двух и более раз) объектов (звезд и галактик) в перекрывающихся по участкам для конкретной зоны и ошибки среднего значения экваториальных координат  $\sigma$  и  $B$ -величин  $B$  звезд и галактик

Зона	$k_p$	$\sigma$	$\sigma$	$B$	$n_i$
88	8	0.497"	0.377"	0.207 <sup>m</sup>	1946
84	25	0.316	0.327	0.181	130004
80	24	0.328	0.314	0.169	219779
76	53	0.286	0.279	0.179	452689
72	61	0.300	0.291	0.191	487302
68	58	0.292	0.284	0.150	521877
64	50	0.282	0.272	0.127	607029
60	102	0.318	0.311	0.155	1318346
56	106	0.299	0.288	0.169	1343861

**Таблица 1.** Распределение по интервалам звездных  $B$ -величин внутренних ошибок определения экваториальных координат  $\alpha$ ,  $\delta$ , фотографических величин  $B_{ph}$ , средних диаметров изображений звезд  $f_2$ , средних значений интенсивности в центре изображений объектов  $I_c$  и количества объектов каталога  $k$

$B_{ph}$	$\alpha$	$\delta$	$B_{ph}$	$f_2$	$I_c$	$k$
5.65 <sup>m</sup>	0.343"	0.349"	0.225 <sup>m</sup>	60.9	137.4	27
6.65	0.319	0.286	0.206	58.5	129.0	306
7.58	0.276	0.223	0.149	48.4	128.7	1203
8.57	0.155	0.125	0.085	34.2	125.9	3317
9.57	0.082	0.063	0.043	21.9	120.9	8664
10.56	0.052	0.045	0.030	14.1	112.7	20800
11.56	0.047	0.043	0.033	9.9	100.4	44846
12.56	0.066	0.061	0.043	7.6	83.3	94604
13.57	0.143	0.132	0.062	6.4	60.9	216205
14.58	0.222	0.207	0.105	5.6	34.9	643629
15.43	0.289	0.272	0.151	5.2	22.5	766411
16.31	0.381	0.356	0.224	4.9	19.7	173426
17.10	0.421	0.396	0.177	4.6	16.7	2529
14.71	0.239	0.224	0.123	5.9	36.8	1975967

ках для конкретной зоны и ошибки среднего значения определения экваториальных координат ( $\alpha$ ,  $\delta$ ) и  $B$ -величин ( $B$ ) звезд и галактик.

На следующем этапе были получены новые средние значения координат и  $B$ -величин объектов в зонах перекрытия. Для каждого объекта имеем координаты,  $B$ -величины и их ошибки для двух зон —  $\alpha_{1,2}$ ,  $\delta_{1,2}$ ,  $B_{1,2}$ ,  $\sigma_{\alpha,1,2}$ ,  $\sigma_{\delta,1,2}$ ,  $\sigma_{B,1,2}$ . Для звезд и галактик каталога окончательные значения координат,  $B$ -величин и их ошибки вычислены по формулам

$$\begin{aligned}
 & (\alpha_{1,2}^2 + \sigma_{\alpha,1,2}^2) / (\alpha_{1,2}^2 + \sigma_{\alpha,1,2}^2), \\
 & (\delta_{1,2}^2 + \sigma_{\delta,1,2}^2) / (\delta_{1,2}^2 + \sigma_{\delta,1,2}^2), \\
 & B_{ph} = (B_{1,2}^2 + \sigma_{B,1,2}^2) / (B_{1,2}^2 + \sigma_{B,1,2}^2), \\
 & = (\alpha_{1,2}^2 + \sigma_{\alpha,1,2}^2)^{1/2}, \\
 & = (\delta_{1,2}^2 + \sigma_{\delta,1,2}^2)^{1/2}, \\
 & B = (B_{1,2}^2 + \sigma_{B,1,2}^2)^{1/2}.
 \end{aligned} \tag{4}$$

В табл. 1 (см. также рис. 4, а) дано распределение (по значениям звездных величин  $B_{ph}$ ) внутренних ошибок  $\alpha$ ,  $\delta$  и  $B_{ph}$  определения экваториальных координат и фотографических величин, диаметров изображений звезд  $f_2$ , значений интенсивности  $I_c$  в центре изображений объектов и количество  $k$  объектов каталога.

На рис. 2 для отдельных семи околополюсных зон программы ФОН приведены: ошибки астрометрии  $\sigma_{\alpha}$ ,  $\sigma_{\delta}$ , ошибки фотометрии  $\sigma_B$  (в пределах зон перекрытия по  $\alpha$  и  $\delta$ ). Для каждой зоны указаны ошибки среднего значения определения экваториальных координат

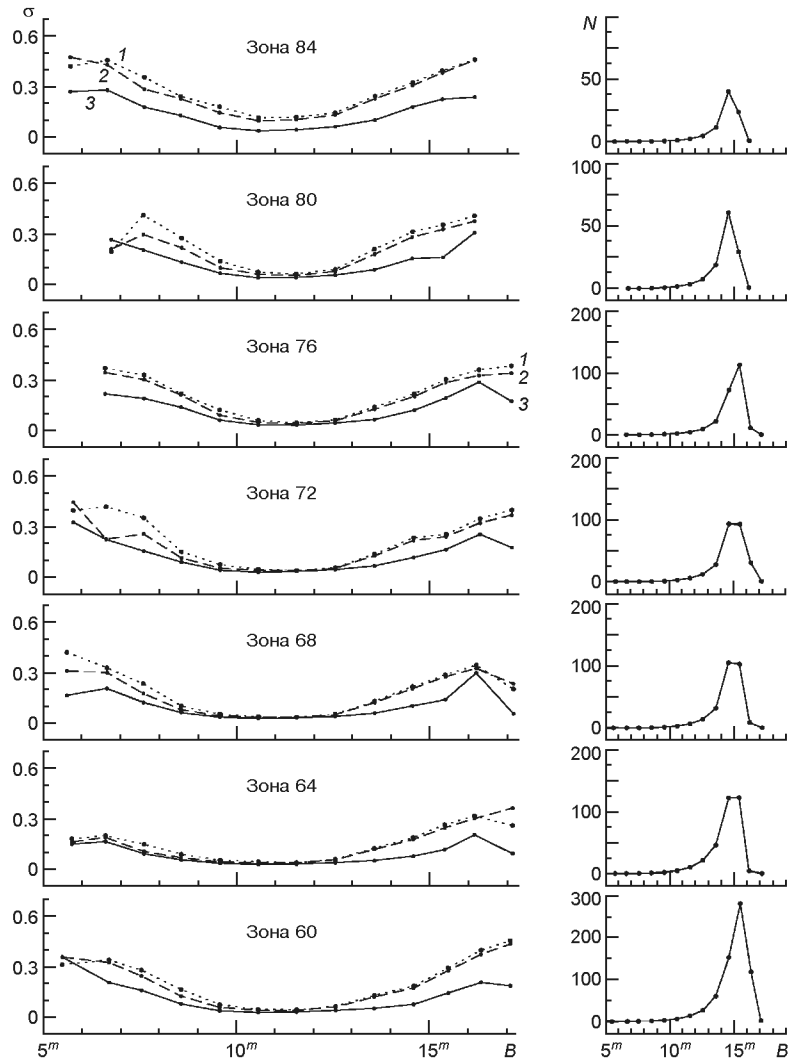


Рис. 2. Слева — зависимость ошибок астрометрии (пунктирные кривые 1), (штриховые кривые 2) и  $B$ -величин  $B$  (сплошные кривые 3) от звездной величины  $B$  (в пределах зон перекрытия по и ) для семи околополюсных зон программы ФОН. Справа — гистограммы распределения объектов по значениям  $B$ -величины. Для каждой зоны ниже в таблице указаны ошибки среднего значения экваториальных координат , и  $B$ -величин  $B$  звезд и галактик, а также окончательное количество  $N_i$  отождествленных объектов (звезд и галактик) в перекрывающихся участках

Зона	$k_p$			$B$	$N_i$
84	25	0.316"	0.301"	$0.170^m$	83220
80	24	0.280	0.252	0.133	122393
76	53	0.246	0.229	0.152	235486
72	61	0.230	0.215	0.138	256063
68	58	0.222	0.211	0.113	274089
64	50	0.192	0.179	0.083	330653
60	102	0.254	0.239	0.123	681568



**Таблица 2.** Результаты сравнения каталога с «Тусхо-2» ( $B_{ph}$  — интервалы фотографических звездных величин,  $\delta$ ,  $\epsilon$ ,  $\nu$ ,  $\mu$  — ошибки экваториальных координат и фотометрических величин,  $f_2$  — диаметры изображений звезд,  $I_c$  — значения интенсивности в центре изображений объектов,  $k$  — количество объектов каталога)

$B_{ph}$	$\delta$	$\epsilon$	$\nu$	$\mu$	$f_2$	$I_c$	$k$
5.62 <sup>m</sup>	0.245"	0.369"	0.491 <sup>m</sup>	0.450 <sup>m</sup>	53.0	132.1	16
6.68	0.257	0.211	0.329	0.272	55.4	131.6	209
7.60	0.223	0.158	0.302	0.210	45.9	129.7	912
8.58	0.137	0.090	0.252	0.152	33.0	126.6	2934
9.58	0.087	0.058	0.226	0.123	21.7	121.3	8317
10.56	0.066	0.048	0.237	0.110	14.1	112.9	20445
11.55	0.061	0.045	0.211	0.118	9.9	100.7	43304
12.50	0.065	0.046	0.285	0.215	7.7	84.8	70937
13.27	0.076	0.055	0.382	0.332	6.7	70.1	23930
14.11	0.092	0.077	0.572	0.647	6.0	52.5	120
11.89	0.069	0.050	0.271	0.189	10.3	92.9	171124

$\delta$ ,  $\epsilon$  и  $B$ -величин  $B$  звезд и галактик. Справа даны гистограммы распределения объектов со звездной  $B$ -величиной и указано окончательное количество отождествленных объектов (звезд и галактик)  $N_i$  в перекрывающихся участках для каждой зоны.

Окончательный каталог был получен объединением данных по всем зонам.

**Ошибки каталога.** Результаты сравнения 171 124 звезд полученного каталога с «Тусхо-2» приведены на рис. 4, б и в табл. 2. В табл. 2 даны: ошибки координат  $\delta$ ,  $\epsilon$  и фотометрических величин  $\nu$ ,  $\mu$ , диаметры изображений звезд  $f_2$ , значения интенсивности в центре изображений объектов  $I_c$  и количество сравниваемых объектов

**Таблица 3.** Распределение фотометрических ошибок каталога по интервалам звездных величин ( $B_{ph}$ ,  $\delta_{Bph}$  — интервалы фотографических звездных величин и ошибки фотометрии,  $f_2$  — диаметры изображений звезд,  $I_c$  — значения интенсивности в центре изображений объектов  $k$  — количество объектов каталога)

$B_{ph}$	$\delta_{Bph}$	$f_2$	$I_c$	$k$
5.67 <sup>m</sup>	0.524 <sup>m</sup>	61.3	131.8	60
6.60	0.278	56.7	131.2	372
7.52	0.201	48.9	132.2	671
8.49	0.157	35.3	129.5	716
9.51	0.104	22.6	127.1	782
10.47	0.103	14.9	121.1	887
11.47	0.096	10.2	107.4	794
12.41	0.110	7.8	89.6	450
13.46	0.146	6.4	67.1	169
14.48	0.198	5.7	46.1	124
15.49	0.318	5.5	25.8	79
16.20	0.342	5.2	18.7	26
9.95	0.149	24.9	115.0	5130

Рис. 3. Фотометрические ошибки каталога:  $a$  и  $b$  — зависимость разности  $B$  для звездных  $B_{ph}$ -величин каталога и фотоэлектрических  $B_{pe}$ -величин от значений  $B_{pe}$ ,  $b$  — зависимость  $B$  от  $(B - V)_{pe}$  для  $N_{pe} = 5130$  звезд,  $v$ ,  $z$  — зависимости  $B_{ph}$ -величины и интенсивности  $I_c$  в центре изображения звезд от  $(B - V)_{pe}$

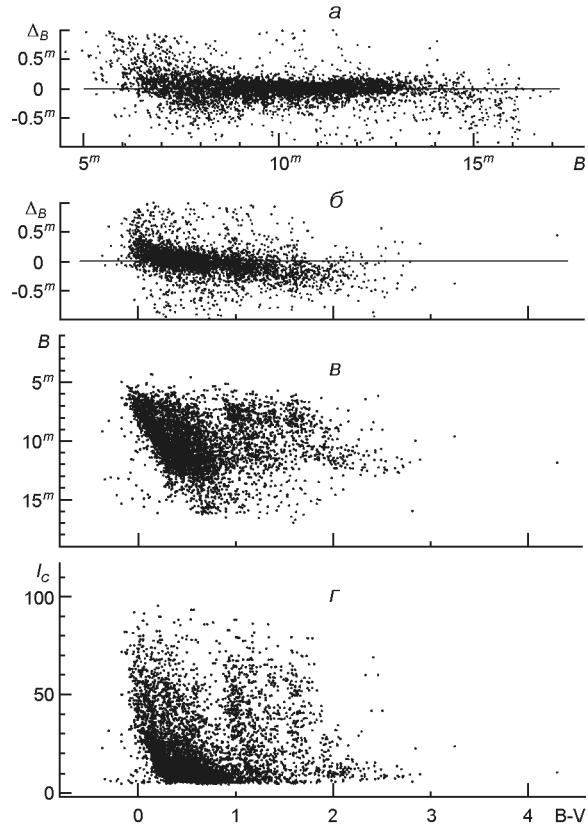


Таблица 4. Результаты сравнения каталога с UCAC-4. В колонках приведены значения: ошибки определения экваториальных координат  $\alpha$ ,  $\delta$  и количество звезд сравнения  $k$

$B_{ph}$	Зона 58...70			Зона 70...90		
	$\alpha$	$\delta$	$k$	$\alpha$	$\delta$	$k$
5.65	0.398"	0.386"	12	0.508"	0.613"	6
6.66	0.427	0.311	185	0.523	0.388	60
7.58	0.299	0.219	683	0.499	0.307	363
8.57	0.160	0.110	2056	0.293	0.189	1050
9.57	0.086	0.071	5434	0.166	0.097	3056
10.56	0.066	0.062	13190	0.098	0.071	7402
11.56	0.071	0.066	28878	0.098	0.074	15523
12.56	0.115	0.110	60648	0.138	0.109	32888
13.57	0.199	0.192	135397	0.264	0.201	77481
14.58	0.292	0.267	371706	0.392	0.301	257551
15.44	0.389	0.365	493831	0.410	0.362	250418
16.32	0.486	0.475	126799	0.368	0.394	41354

каталога. Ошибки астрометрической редукиции для опорных звезд каталога «Tycho-2» равны  $\alpha = 0.06''$ .

Ошибки фотометрии были определены сравнением звездных величин нашего каталога с фотоэлектрическими величинами (5130 звезд) из каталогов [9, 15]. В табл. 3 представлено распределение по

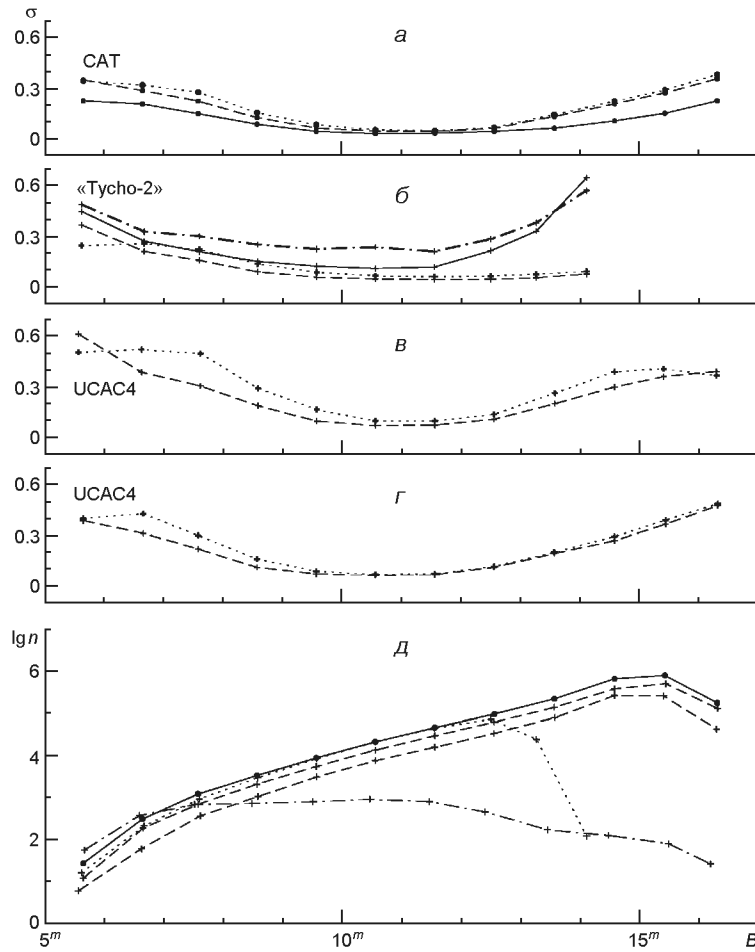


Рис. 4. Зависимости ошибок каталога околополюсной области программы ФОН ( $n_C = 1\,975\,967$  звезд и галактик до  $16.5^m$ ) от звездной величины  $B$ : *a* — внутренние ошибки координат (пунктирные кривые 1), (штриховые кривые 2) и  $B$ -величин  $B$  (сплошные кривые 3) для всех объектов каталога, *б* — распределение ошибок при сравнении с опорной астрометрической системой каталога «Tycho-2» ( $n_T = 171\,124$ ), *в*, *г* — ошибки , при сравнении с каталогом UCAC-4 ( $n_U = 1\,943\,665$ ) отдельно для областей 70—90 и 58—70, *д* — распределение количества  $n$  звезд каталога и звезд сравнения по значениям звездной  $B$ -величины

интервалам звездных величин фотометрических ошибок  $B$  каталога по отношению к опорной системе фотоэлектрических стандартов. Результаты сравнения представлены на рис. 3. На зависимостях разности  $B = B_{ph} - B_{pe}$  от значений фотоэлектрических звездных величин  $B_{pe}$  и от показателей цвета  $B - V$  заметно наличие уравнения цвета, что является естественным результатом для астрографов. Диаграммы зависимостей  $B_{ph}$  от  $B - V$  и  $I_c$  от  $B - V$  четко соответствуют диаграммам ГР-распределения звездного населения.

Было выполнено сравнение нашего каталога с каталогом UCAC-4 (рис. 4, в, г) [23]. По техническим причинам сравнение осуществлено только для двух областей: 58...70 и 70...90. В табл. 4 дано распре-

ление ошибок определения экваториальных координат  $\alpha$ ,  $\delta$  и количество объектов по интервалам звездных величин. Позиционные ошибки нашего каталога по отношению к каталогу UCAC4 составляют  $\sigma = 0.33$  (отождествилось 1 928 367 звезд и галактик).

На рис. 4,  $\delta$  дано распределение количества  $n$  объектов нашего каталога и каталогов сравнения по значению звездной  $B$ -величины.

**Выводы.** 1. В ГАО НАНУ создано и применено на практике комплексное программное обеспечение как для обработки оцифрованных астронегативов, так и для получения конечного продукта в виде каталога экваториальных координат и звездных величин звезд и галактик.

2. Версия созданного каталога для околополюсной области программы ФОН содержит 1 975 967 звезд и галактик до  $B = 16.5^m$  на эпоху 1985.28 г. Координаты звезд и галактик получены в системе каталога «Tycho-2»,  $B$ -величины в системе фотоэлектрических стандартов. Внутренняя точность каталога для всех объектов составляет  $\sigma = 0.23$  и  $\sigma_B = \pm 0.12^m$  (для звезд в интервале блеска  $B = 8^m \dots 13^m$  ошибки равны 0.11 и  $0.06^m$  соответственно). Сходимость координат с опорной системой «Tycho-2» составляет  $\sigma = 0.06$  (для 171 124 звезд), сходимость с фотоэлектрическими звездными  $B_{pe}$ -величинами —  $\sigma_B = 0.15^m$  (для 5130 звезд). Ошибки по отношению к каталогу UCAC4 составляют  $\sigma = 0.33$  (отождествилось 1 928 367 звезд и галактик).

3. Методика измерений и обработки астронегативов, программное обеспечение, созданное в отделе астрометрии ГАО НАНУ, успешно применяется для всех экспонированных пластинок программы ФОН с целью создания каталога экваториальных координат и  $B$ -величин звезд северного неба (от 0 до 90°).

Каталог положений и  $B$ -величин звезд околополюсной области программы ФОН будет размещен на web-странице ГАО НАНУ и сайте УкрВО. Каталог 1 975 967 звезд и галактик до  $B = 16.5^m$  включает экваториальные координаты  $\alpha$ ,  $\delta$  на эпоху 1985.28 г. и равноденствие 2000 г., звездные величины в системе  $B$ , а также ошибки определения этих величин, количество определений и дополнительную информацию в виде усредненных значений для диаметров изображений звезд  $f_2$  и значений интенсивности в центре изображений объектов  $I_c$ .

Авторы выражают благодарность за техническую помощь отделу АКВЦ ГАО НАНУ а также П. Ф. Лазоренко за консультации.

1. Андрук В. Н., Иванов Г. А., Погорельцев М. Т., Яценко А. И. Об использовании сканера для определения координат и фотометрии звёзд на пластинках программы ФОН // Кинематика и физика небес. тел.—2005.—**21**, № 5.—С. 396—400.
2. Андрук В., Пакуляк Л. Дослідження можливості використання сканерів Microtek для фотометрії зір // Журн. фіз. досліджень.—2007.—**11**, № 3.—С. 329—333.
3. Андрук В. М., Бутенко Г. З., Яценко А. И. Фотометрия пластинок, оцифрованных сканером MICROTEK SCANMAKER 9800XL TMA // Кинематика и физика небес. тел.—2010.—**26**, № 3.—С. 75—81.

4. Андрук В. М., Пакуляк Л. К., Ёжакевич О. М. та ін. Астрометрія платівок ДША, оцифрованих двома типами сканерів. Розділення зображень зір двох експозицій // Вісник КНУ ім. Т. Шевченка. Сер. Астрономія.—2012.—№ 48.—С. 11—13.
5. Вавилова И. Б., Пакуляк Л. К., Шляпников А. А. и др. Астроинформационный ресурс Украинской виртуальной обсерватории (УкрВО): объединенный архив данных наблюдений, научные задачи и программное обеспечение // Кинематика и физика небес. тел.—2012.—28, № 2.—С. 59—80.
6. Головня В., Андрук В., Яценко А. Астрометрія платівок ПША, оцифрованих сканером MICROTEK SCANMAKER 9800XL ТМА // Журн. фіз. досліджень.—2010.—14, № 2.—С. 1—8.
7. Казанцева Л. В., Шатохина С. В., Процюк Ю. И. и др. Результаты обработки оцифрованных фотографических наблюдений Плутона из коллекций УкрВО // Кинематика и физика небес. тел.—2015.—31, № 1.—С. 58—80.
8. Кислюк В. С., Яценко А. И., Иванов Г. А. и др. ФОНАК: астрографический каталог программы ФОН // Кинематика и физика небес. тел.—2000.—16, № 6.—С. 483—496.
9. Корнилов В. Г., Волков И. М., Захаров А. И. и др. Каталог WBVR-величин ярких звёзд Северного неба / Под. ред. В. Г. Корнилова. — М.: Изд-во Моск. ун-та, 1991.—400 с. (Тр. Гос. астрон. ин-та им. П. К. Штернберга, Т. 63).
10. Процюк Ю. И., Мартынов М. В., Мажжаев А. Э. и др. Создание каталогов координат и собственных движений звезд с использованием совместной обработки архивных фотографических и современных ПЗС наблюдений // Кинематика и физика небес. тел.—2014.—30, № 6.—С. 54—65.
11. Яценко А. И., Андрук В. Н., Головня В. В. и др. Результаты сканирования снимков 60-й зоны программы ФОН — методика редукции измерений, характеристика выходного каталога // Кинематика и физика небес. тел.—2011.—27, № 5.—С. 49—59.
12. Andruk V. M., Golovnya V. V., Ivanov G. A., et al. Compilation of catalog of stellar equatorial coordinates and B-magnitudes using UkrVO plate database // Odessa Astron. Publ.—2014.—27, N 1.—P. 53—54.
13. Andruk V. M., Vidmachenko A. P., Ivashchenko Yu. M. Processing of CCD frames of images of star fields without the frame of a flat field using new software in program shell of MIDAS/ROMAFOT // Kinematics and Physics of Celestial Bodies. Suppl.—2005.—N 5.—P. 413—416.
14. ESO-MIDAS users guide. — Garching. 1994.—Vol. A, B, C.
15. Mermilliod J. C. Homogeneous means in the UBV system. — Institut d’Astronomie, Universite de Lausanne, 1991.
16. Muminov M. M., Yuldoshev Q. X., Ehgamberdiev Sh. A., et al. Astrometry of  $\alpha$  and  $\beta$  Persei based on processing of digitized plates of archive of the Astronomical Institute of the Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan // Odessa Astron. Publ.—2014.—27, N 1.—P. 57—58.
17. Protsyuk Yu. I., Andruk V. N., Kazantseva L. V. Software for processing of digitized astronegatives from archives and Databases of Virtual Observatory // Odessa Astron. Publ.—2014.—27, N 1.—P. 59—60.
18. Protsyuk Yu. I., Andruk V. N., Muminov M. M., et al. Method for evaluating the astrometric and photometric characteristics of commercial scanners in their application for the scientific purpose // Odessa Astron. Publ.—2014.—27, N 1.—P. 61—62.

19. *Protsyuk Yu. I., Kovylianska O. E., Protsyuk S. V., Andruk V. M.* Results of processing of astronegatives with commercial scanner // *Odessa Astron. Publ.*—2014.—**27**, N 1.—P. 63—64.
20. *Vavilova I., Golovnya V., Andruk V., et al.* The scientific use of the UkrVO joint digital archive: GRBs fields, Pluto, and satellites of outer planets // *Odessa Astron. Publ.*—2014.—**27**, N1.—P. 65—66.
21. *Vavilova I. B., Pakuliak L. K., Protsyuk Yu. I., et al.* UkroVO joint digitized archive and scientific prospects // *Baltic Astron.*—2012.—**21**, N 3.—P. 356—365.
22. *Yzhakevich O., Andruk V., Pakuliak L., et al.* Positional catalogues of Saturns and Jupiters Moons // *Odessa Astron. Publ.*—2014.—**27**, N 1.—P. 67—68.
23. *Zacharias N., Finch C. T., Girard T. M., et al.* The fourth US Naval Observatory CCD Astrograph Catalog (UCAC4) // *Astron. J.*—2013.—**145**, N 2.—44Z.—14 p.

Статья поступила в редакцию 25.06.2015