

УДК 521.95

**В. Н. Андрук, Л. К. Пакуляк, В. В. Головня, Г. А. Иванов,  
А. И. Яценко, С. В. Шатохина, Е. М. Ижакевич**Главная астрономическая обсерватория Национальной академии наук Украины  
ул. Академика Заболотного 27, Киев, 03680  
andruk@mao.kiev.ua**Каталог экваториальных координат  
и  $B$ -величин звезд программы ФОН**

В рамках работ по программе ФОН с использованием накопленных ресурсов Объединенного цифрового архива УкрВО в ГАО НАН Украины создан каталог экваториальных координат, и звездных величин  $B$  для звезд северного полушария неба (от  $-4^\circ$  до  $+90^\circ$ ). Количество обработанных пластинок равно 2260. Оцифровка астронегативов осуществлялась с помощью сканеров «Microtek ScanMaker 9800XL TMA» и «Epson Expression 10000XL», режим сканирования — 1200 dpi, размер большинства пластинок — 30 30 см, или 13000 13000 пкл. Каталог содержит 19 451 751 звезд и галактик до  $B = 16.5^m$  на эпоху 1988.1 г. Координаты звезд и галактик получены в системе каталога «Tycho-2»,  $B$ -величины — в системе фотоэлектрических стандартов. Средняя внутренняя погрешность каталога составляет  $\sigma_B = 0.23''$  и  $\sigma_{\alpha} = 0.14^m$  для всех объектов или  $0.10''$  и  $0.07^m$  для звезд в интервале блеска  $B = 7^m \dots 14^m$ . Сходимость между нашим каталогом и «Tycho-2» описывается значениями  $0.06''$  и  $0.15^m$  соответственно. Средняя квадратичная величина разностей координат нашего каталога и каталога UCAC-4 равна  $\sigma = 0.30''$  (отождествилось 18 742 932, или 96.36 % звезд и галактик).

КАТАЛОГ ЕКВАТОРІАЛЬНИХ КООРДИНАТ ТА  $B$ -ВЕЛИЧИН ЗІР ПРОГРАМИ ФОН, Андрук В. М., Пакуляк Л. К., Головня В. В., Иванов Г. О., Яценко А. І., Шатохіна С. В., Іжакевич О. М. — В рамках робіт за програмою ФОН з використанням накопчених ресурсів Об'єднаного цифрового архіву УкрВО в ГАО НАН України створено каталог екваторіальних координат, та  $B$ -величин зір для північної півкулі неба (від  $-4^\circ$  до  $+90^\circ$ ). Кількість оброблених платівок становить 2260. Оцифрування астронегативів виконано з допомогою

сканерів «Microtek ScanMaker 9800XL TMA» та «Epson Expression 10000XL», режим сканування — 1200 dpi, розмір більшості платівок — 30 30 см, або 13000 13000 пкл. Каталог включає 19 451 751 зір та галактик до  $B = 16.5^m$  на епоху 1988.1 р. Координати зір та галактик отримано в системі каталогу «Tycho-2»,  $B$ -величини в системі фотоелектричних стандартів. Середня внутрішня похибка каталогу становить  $\sigma_B = 0.23''$  та  $\sigma_B = 0.14^m$  для всіх об'єктів або  $0.10''$  та  $0.07^m$  для зір в інтервалі блиску  $B = 7^m \dots 14^m$ . Узгодженість між нашим каталогом та каталогом «Tycho-2» виражається значеннями  $0.06''$  і  $0.15^m$  відповідно. Середня квадратична величина різниць координат нашого каталогу та каталогу UCAC-4 складає  $\sigma = 0.30''$  (ототожнилось 18 742 932, або 96.36 % зір та галактик).

*CATALOG OF POSITIONS AND B MAGNITUDES OF STARS OF NORTHERN SKY SURVEY (FON) PROJECT, by Andruk V. M., Pakuliak L. K., Golovnia V. V., Ivanov G. O., Yatsenko A. I., Shatokhina S. V., Yizhakevych O. M. — The catalog of star positions and B-magnitudes of Northern Sky Survey project (from  $-4^\circ$  to  $+90^\circ$ ) 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 2260. 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 19 451 751 stars and galaxies with  $B = 16.5^m$  for the epoch of 1988.1. 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  $\sigma_B = 0.14^m$  (for stars in the range of  $B = 7^m \dots 14^m$  errors are  $\sigma_B = 0.10''$  and  $\sigma_B = 0.07^m$ ). Convergence between the calculated and reference positions is  $\sigma = 0.06''$ , and the convergence with photoelectric stellar B-magnitudes is  $\sigma_B = 0.15^m$ . External accuracy from the comparison with UCAC-4 is  $\sigma = 0.30''$  (18 742 932 or 96.36 % stars and galaxies were cross identified).*

План фотографического обзора Северного неба (проект ФОН) был предложен в 1976 г. сотрудниками ГАО АН УССР И. Г. Колчинским и А. Б. Онегиной [12]. Фотографирование северного неба началось в Киеве в октябре 1981 г. на телескопе ДША (Двойной широкоугольный астрограф,  $D = 40$  см,  $F = 2$  м,  $103$  /мм), а последние астронегативы были сняты в июле 1998 г. Всего по этой программе было обработано примерно 2260 пластинок размером  $6 \times 6$  или  $8 \times 8$ . Активное участие в наблюдениях принимали Г. А. Иванов, А. И. Яценко, Л. К. Пакуляк, В. И. Белан и другие сотрудники отдела астрометрии. Первая версия каталога ФОНАК была получена в 2000 г. и включала 2 млн звезд до  $B = 14^m$  [11]. Новая версия каталога положений,  $\sigma$ , и  $B$ -величин звезд создана с использованием программ обработки и редукции

оцифрованных астронегативов, разработанных в ГАО НАН Украины [17]. Работа выполнена с использованием накопленных ресурсов Объединенного цифрового архива Украинской виртуальной обсерватории [7, 36]. Сканирование пластинок сделано на сканерах «Microtek ScanMaker 9800XL TMA» и «Epson Expression 10000XL». Версия каталога 2016 г. была 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 [24]. Тестирование сканеров, принципы и этапы обработки оцифрованных астронегативов изложены в серии работ [2, 4—6, 8, 9, 14, 26, 29, 30, 32, 33, 35], а тестирование программного обеспечения с получением конкретных результатов сделано в работах [3, 10, 15, 16, 18, 19, 23, 25, 27, 31, 37, 38].

При создании каталога сделано следующее. Северное полушарие было разбито на 23 зоны высотой  $4^\circ$ . Для отдельных зон реализован принцип двукратного перекрытия по склонению, а в пределах зон перекрытие выполнено со смещением центров пластинок друг относительно друга примерно на  $4^\circ / \cos \delta$  по прямому восхождению. Центры зон и количество  $N$  обработанных пластинок приведены ниже.

Зона	$N$	Зона	$N$	Зона	$N$	Зона	$N$	Зона	$N$	Зона	$N$
88	8	72	51	56	106	40	109	24	149	8	117
84	25	68	59	52	118	36	123	20	125	4	124
80	24	64	50	48	129	32	120	16	124	0	144
76	53	60	102	44	126	28	155	12	116		

Всего в этих зонах полностью обработано около 2260 пластинок, на которых было зарегистрировано порядка 153.57 млн объектов различной природы. Получены экваториальные координаты и  $B$ -величины для 19 451 751 звезды и галактики. После процедур взаимных отождествлений объектов на астронегативах среднее количество измерений звезд и галактик оказалось равным  $l = 4$ , и в каталог также зачислены дополнительно 1779372 звезды и галактики (9.15 % от общего количества), для которых сделано по одному измерению (по результатам отождествлений с каталогом UCAC4 [39]).

В табл. 1 дано распределение по значениям звездных величин  $B$  внутренних ошибок  $\sigma_B$ ,  $\sigma_{B_{ph}}$  определения экваториальных координат и фотографических величин, диаметров изображений звезд  $f_{1/2}$ , значений интенсивности  $I_c$  в центре изображений объектов и количество  $k$  объектов каталога.

Координаты звезд и галактик получены в системе каталога «Tycho-2» (средняя эпоха 1988.1 г.),  $B$ -величины — в системе фотоэлектрических стандартов. В качестве фотометрических стандартов для построения характеристических кривых отдельных астронегативов использовались фотоэлектрические  $B_{pe}$ -величины звезд из специальных каталогов [1, 13, 20—22, 28, 34]. Сходимость значений координат, вычисленных нами, и значений координат из каталога «Tycho-2» составляет  $\sigma = 0.06$ , а сходимость значений блеска равна  $\sigma_B = 0.15^m$ .

**Распределение по интервалам звездных  $B$ -величин внутренних ошибок определения экваториальных координат, фотографических величин, средних диаметров изображений звезд, средних значений интенсивности и количества объектов каталога**

$B_{ph}$			$B$	$f_{1/2}$ , пкл	$I_c$	$k$
4.68 <sup>m</sup>	0.330	0.330	0.222 <sup>m</sup>	55.3	209.9	65
5.63	0.350	0.285	0.211	50.5	209.8	535
6.61	0.284	0.246	0.172	47.4	201.1	2622
7.58	0.223	0.181	0.124	39.8	189.6	8451
8.57	0.128	0.101	0.076	28.8	175.0	22701
9.57	0.067	0.057	0.045	18.8	157.4	59788
10.57	0.048	0.045	0.037	12.1	137.9	147287
11.56	0.044	0.042	0.046	8.6	115.3	342430
12.56	0.071	0.068	0.062	6.8	88.8	789921
13.57	0.135	0.128	0.079	5.8	59.8	1907304
14.57	0.203	0.188	0.118	5.3	33.4	4998286
15.46	0.282	0.262	0.171	5.0	20.2	6911321
16.35	0.351	0.336	0.219	4.8	15.7	2357465
17.15	0.397	0.390	0.147	5.0	15.3	124198
14.85	0.237	0.222	0.143	5.4	34.2	17672379

Средняя квадратичная величина разностей координат нашего каталога и каталога UCAC-4 равна  $\sigma = 0.30$  (отождествилось 18 742 932, или 96.36 % звезд и галактик).

Каталог положений и  $B$ -величин звезд программы ФОН размещен на web-странице ГАО НАН Украины и на сайте УкрВО. Каталог 19 451 751 звезд и галактик до  $B = 16.5^m$  включает экваториальные координаты, на индивидуальную эпоху наблюдений и равноденствие 2000 г., звездные величины в системе  $B$ , а также ошибки определения этих величин, количество определений и информацию в виде усредненных значений для диаметров изображений звезд  $f_{1/2}$  и значений интенсивности в центре изображений объектов  $I_c$ . Также в каталог включена дополнительная информация из каталога UCAC4 о собственных движениях и звездные величины  $f, B, V, r, i$  [34].

Промежуточные результаты о ходе и результатах создания каталога ФОН (а также работах, выполняемых с применением программного обеспечения ФОН) докладывались на конференциях Gamov-2014, Gamov-2015 (Одесса, Украина), Astroplate-2016 (Прага, Чехия) и других конференциях.

Авторы выражают благодарность за техническую помощь отделу АКВЦ ГАО НАН Украины.

1. Андрук В. Н. Фотометрическая служба вблизи главного меридиана Галактики: наблюдения и создание каталога фотометрических стандартов звездных величин и цветов в системе UBVR // Кинематика и физика небес. тел.—1996.—**12**, № 4.—С. 60—73.
2. 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.
3. Андрук В. Н., Головня В. В., Иванов Г. А. и др. Каталог экваториальных координат и  $B$ -величин звезд околополюсной области программы ФОН // Кинематика и физика небес. тел.—2016.—**32**, № 1.—С. 56—69.

4. 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.
5. Андрук В., Пакуляк Л. Дослідження можливості використання сканерів Microtek для фотометрії зір // Журн. фіз. досліджень.—2007.—**11**, № 3.—С. 329—333.
6. Андрук В. М., Пакуляк Л. К., Їжакевич 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.
7. 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.
8. Головня В., Андрук В., Яценко А. Астрометрія платівок ПША, оцифрованих сканером MICROTEK SCANMAKER 9800XL TMA // Журн. фіз. досліджень.—2010.—**14**, № 2.—С. 1—8.
9. Иванов Г., Пакуляк Л., Шатохина С. и др. Цифровой архив УкрВО: первые результаты обработки пластинок с телами Солнечной системы // Изв. Глав. астрон. обсерватории в Пулкове.—2013.—**220**.—С. 501—506.
10. 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.
11. 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.
12. Колчинский И. Г., Онегина А. Б. План фотографирования неба на широкоугольных астрографах // Астрометрия и астрофизика.—1977.—Вып. 33.—С. 11—16.
13. Корнилов В. Г., Волков И. М., Захаров А. И. и др. Каталог WBVR-величин ярких звезд Северного неба / Под ред. В. Г. Корнилова. — М.: Изд-во Моск. ун-та, 1991.—400 с.—(Тр. Гос. астрон. ин-та им. П. К. Штенберга, Т. 63).
14. Муминов М. М., Каххаров Б. Б., Йулдошев К. Х. и др. Астрометрия тестовых пластинок, оцифрованных сканером Epson expression 10000XL в Астрономическом институте АН РУз // Изв. Глав. астрон. обсерватории в Пулкове.—2013.—**220**.—С. 517—521.
15. Муминов М. М., Эгамбердиев Ш. А., Латыпов А. А. и др. Каталог экваториальных координат и В-величин звезд экваториальной зоны программы ФОН на основе обработки оцифрованных астронегативов Китабской обсерватории // Изв. Глав. астрон. обсерватории в Пулкове.—2016.—**223**.—С. 339—346.
16. Процюк Ю. И., Мартынов М. В., Мажсаев 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.
17. Яценко А. И. Новая версия каталога фотографического обзора северного неба (ФОН 2.0), полученная по результатам сканирования астронегативов // Кинематика и физика небес. тел.—2016.—**32**, № 3.—С. 75—80.
18. 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.
19. 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.
20. Andruk V. M., Kharchenko N. V., Schilbach E., Scholz R.-D. Photometric survey near the main Galactic Meridian. 1. Photoelectric stellar magnitudes and colours in the UBVR system // Astron. Nachr.—1995.—**316**, N 4.—P. 225—248.
21. Andruk V. M., Kharchenko N. V., Schilbach E., Scholz R.-D. Photometric survey near the main Galactic Meridian. 2.1. Finding charts and photoelectric UBVR stellar

- magnitudes in 25 fields // *Astron. Nachr.*—1996.—**317**, N 1.—P. 49—76.
22. *Andruk V. M., Kharchenko N. V., Schilbach E., Scholz R.-D.* Photometric survey near the main Galactic Meridian. 2.2. Finding charts and photoelectric UBVR stellar magnitudes in 26 fields // *Astron. Nachr.*—1996.—**317**, N 2.—P. 127—155.
  23. *Andruk V. M., Pakuliak L. K., Golovnia V. V., et al.* Catalog of positions and B-magnitudes of stars in the circumpolar region of Northern Sky Survey (FON) project // *Odessa Astron. Publ.*—2015.—**28**, N 2.—P. 192—195.
  24. *Andruk V. M., Pakuliak L. K., Golovnya V. V., et al.* Catalogue of star positions and B-magnitudes in 60th declination zone based on UkrVO Joint Digital Archive.—[arxiv.org/abs/1512.05535](https://arxiv.org/abs/1512.05535).—2015.
  25. *Andruk V. M., Relke H., Protsyuk Yu. I., et al.* Comparison of zero zone catalogues of the FON program based on the Kyiv and Kitab observations // *Odessa Astron. Publ.*—2015.—**28**, N 2.—P. 188—191.
  26. *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.
  27. *Golovnia V. V., Protsyuk Yu. I., Andruk V. M., et al.* Catalogues of the faint objects in the areas with gamma-ray bursts // *Odessa Astron. Publ.*—2015.—**28**, N 2.—P. 196—197.
  28. *Mermilliod J. C.* Homogeneous means in the UBV system. — Institut d’Astronomie. Universite de Lausanne, 1991.
  29. *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.
  30. *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.
  31. *Protsyuk Yu., Andruk V., Mazhaev A., et al.* Determination of proper motions of circumpolar stars by using images from UkrVO plate archives // *Odessa Astron. Publ.*—2015.—**28**, N 2.—P. 202—203.
  32. *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.
  33. *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.
  34. *Relke E., Protsyuk Yu., Andruk V.* The compiled catalogue of photoelectric UBVR stellar magnitudes in the Tycho2 system // *Odessa Astron. Publ.*—2015.—**28**, N 2.—P. 211—212.
  35. *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**, N 1.—P. 65—66.
  36. *Vavilova I. B., Pakuliak L. K., Protsyuk Yu. I., et al.* UkrVO joint digitized archive and scientific prospects // *Baltic Astronomy.*—2012.—**21**, N 3.—P. 356—365.
  37. *Yizhakevich O. M., Andruk V. M., Pakuliak L. K.* Catalog of astronomical positions of Saturns moons obtained by photographic observations at the MAO NASU in 1961—1991 // *Odessa Astron. Publ.*—2015.—**28**, N 2.—P. 213—216.
  38. *Yizhakevich O., Andruk V., Pakuliak L., et al.* Positional catalogues of Saturns and Jupiters moons // *Odessa Astron. Publ.*—2014.—**27**, N 1.—P. 67—68.
  39. *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 19.05.16