## Каталог экваториальных координат и В-величин звезд экваториальной зоны программы ФОН на основе обработки оцифрованных астронегативов Китабской обсерватории

# М.М. Муминов<sup>1</sup>, А.А.Латыпов<sup>1</sup>, Б.Б. Каххоров<sup>1</sup>, К.Х. Йулдошев<sup>1</sup>, В. Н. Андрук<sup>2</sup>, В.В. Головня<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Астрономический институт АН РУз, Ташкент, Астрономическая 33. Узбекистан , <sup>2</sup>Главная астрономическая обсерватория НАН Украины , Киев, ул. Академика Заболотного 27. Украина <u>muminov\_mm@mail.ru, andruk1058@ukr.net</u>

Для экваториальной зоны программы ФОН на основе обработки оцифрованных астронегативов, отснятых в Китабской обсерватории республики Узбекистан, создан каталог экваториальных а,  $\delta$  координат и В-величин звезд. Ширина зоны – 5 градусов, количество обработанных пластинок равно 90. Оцифровка астронегативов осуществлялась с помощью сканера Epson Expression 10000XL, режим сканирования - 1200 dpi, размер пластинок - 30x30 см или 13000x13000 px. Каталог содержит 1 795640 звезд и галактик до  $B \leq 16.5^m$  на эпоху 1983.2 г. Координаты звезд и галактик получены в системе каталога Тусhо-2, В-величины в системе фотоэлектрических стандартов. Внутренняя точность каталога для всех объектов составляет  $\sigma_{a\delta} = \pm 0.20"$  и  $\sigma_B = \pm 0.18^m$  (для звезд в интервале  $B = 6^m \cdot 13^m$  ошибки равны  $\sigma_{a\delta} = \pm 0.13"$  и  $\sigma_B = \pm 0.11^m$ ) для экваториальных координат и звездных В-величин соответственно. Сходимость между нами вычисленными и опорными положениями составляет  $\sigma_{a\delta} = \pm 0.066"$  (для 64 840 звезд каталога Tycho-2), а сходимость с фотоэлектрическими звездными В-величинами равна  $\sigma_B = \pm 0.19^m$  (для 1 635 измерений звезд). Ошибки по отношению к каталогу UCAC-4 примерно равны  $\sigma_{a\delta} = \pm 0.33"$ .

#### 1. Введение

"Фотографический обзор северного неба" (ФОН) был предложен Голосеевской Астрономической Обсерваторией Академии Наук Украины, Киев (ГАО) (Колчинский, И.Г., 1977) в конце семидесятых годов двадцатого века. Идея проекта была обусловлена ситуацией в области фотографической астрометрии сложившейся в начале семидесятых годов прошлого века. Почти одновременно некоторые обсерватории бывшего Советского Союза (Голосеево, Звенигород, Душанбе, Абастумани и Китаб) были оснащены идентичными астрографами (с диаметром объектива 400 мм и фокусным расстоянием 2000 мм или 3000 мм) производства компания «Карл Цейсс» (Йена).

На Китабской широтной станции был установлен двойной астрограф Цейса (F =3 м, поля 6°х6°, масштаб 68"/мм). Фотографирование северное неба ( от -20° до +30°) проводилось со сдвигом центров фотографических полей на два градуса по координатам альфа и дельта и с расстоянием в 4 градуса по альфа между центрами соседних полей. Фотографирование каждой площадки проводилось с двумя экспозициями (длинной: от 40 до 60 минут и короткой: от 40 секунд до одной минуты) на одной и той же фотопластинке со сдвигом по обеим координатам. Продолжительность длинной экспозиции выбиралась таким образом, чтобы получить изображения звезд до 16-17 звездной величины. По проекту ФОН фотографические наблюдения были завершены в середине 90-х годов XX века. Общее количество полученных в Китабе фотографических изображений составляет порядка 2600 астронегативов. В наблюдениях участвовали Э.Рахматов, Х.Рахматов, Э.Мирмахмудов, Л.Баштова, Ю.Иванов. и др.

С помощью специально разработанного программного обеспечения в среде LINUX/MIDAS/ROMAFOT для всех сканов получено прямоугольные координаты и фотометрические величины зарегистрированных объектов [6,12,14,22]. Базовый программный продукт, разработанный в сканированы с пространственным разрешением 1200 dpi на сканере *Epson Expression 10000XL*, размер обрабатываемых полей – до 13000х13000 пкл (1пкл = 1.45") [1,2,7,18,19,20]. Версия каталога получена из обработки одиночных сканов без поворота пластинок на 90°, что позволило сэкономить ресурсы для хранения и обработки информации в два раза без ущерба для точности полученных результатов. Принципы и этапы обработки оцифрованных астронегативов для 0 зоны, которые изложены в этой работе, будут распространены на обработку всех пластинок Китабской части программы ФОН.

## Разделение звезд на две экспозиции

Пластинки программы ФОН экспонированы с двумя экспозициями: длинной и короткой по 16-20 мин и 30-60 сек соответственно. Для создания астрометрического каталога необходимо исключить звезды короткой экспозиции еще на начальной стадии до процедуры редукции прямоугольных координат X, Y в систему экваториальных координат  $\alpha$ ,  $\delta$  [4]. Этапы и функциональные связи различных параметров при разделении зарегистрированных звезд (объектов) на две экспозиции показано на рис. 1 для пластинки №410 нулевой зоны Китабской части программы ФОН. На верхних панелях показано связь инструментальных звездных величин короткой и длинной экспозиций m<sub>2</sub> и m<sub>1</sub> на начальной и конечной стадиях разделения (слева и справа соответственно). Приведенные к среднему значению разности звездных величин  $\Delta m$ , разности расстояний между центрами изображений  $\Delta r$ , разности координат  $\Delta X$ ,  $\Delta Y$  даны относительно m<sub>1</sub>, расстояния от цетра пластинки R, прямоугольных координат Y, X (панели b, c, d, e, f). На нижних панелях (g, h, j) представлены реальные и теоретические (штриховые линии) гистограммы распределения  $\Delta m$ ,  $\Delta X$ ,  $\Delta Y$ . Отметим, что величина значения поворота разностей  $\Delta X$ ,  $\Delta Y$  относительно центра прямоугольных координат Y, X зависит от

склонения δ экспонируемой пластинки. Поворот систем координат для звезд двух экспозиций на экваторе (δ = 0°) отсутствует.

#### 2. Учет поправок за систематические ошибки сканеров

Коммерческие сканеры обладают систематическими астрометрическими ошибками, особенно велики значения ошибок сканирования вдоль координаты У, т.е. по направлению движения ПЗС-линейки. Амплитуда разностей экваториальных координат между сосчитанными и каталожными значениями достигает величин  $\Delta_{\alpha\delta}$  $=\pm 2.5$ " для сканеров Epson Expression 10000XL. Исправление измеренных координат X, Y за систематические ошибки сканера в настоящей работе выполнено следующим образом. Поделив длину пластинки в пкл  $L_{\rm Y} \approx$ 13000 (вдоль направления сканирования) на количество опорных (для конкретной пластинки) звезд каталога Тусhо-2 К  $\approx$  1360 получим начальный шаг (step) апроксимации s =  $L_y/K \approx 10$  пкл, т.е., на каждый шаг длиной s должна попадать хотя бы одна звезда их опорного каталога Tycho-2. При наличии в шаге двух и более опорных звезд, опорные точки вычисляются для середины шага, как среднее отклонение этих звезд  $\Delta X = \Delta \alpha / M$  и  $\Delta Y =$  $\Delta\delta/M$  (где масштаб сканирования M равен 1пкл  $\approx 1.45$ ") от истинного положения на пластинке; при отсутствии опорных звезд в шаге, при вычислении отклонений опорных точек  $\Delta X$ ,  $\Delta Y$  делается интерполяция по значениям двух соседних участков. В процессе обработки пластинки значения отклонений для определяемых звезд  $\Delta X$ ,  $\Delta Y$  вычисляются интерполированием относительно соседних опорных точек. Отметим, что полная редукция прямоугольных координат Х, У в систему экваториальных координат α, δ делается за четыре последовательных цикла (приближения), в каждом цикле длина шага s увеличивается на значение самого шага. Величина ошибок разностей экваториальных координат между сосчитанными и каталожными значениями  $\sigma_{a}$ , σ<sub>δ</sub> в третьем и четвертом циклах совпадают или очень близки по значению. На рис. 2 справа и слева показан ход разностей  $\Delta \alpha$ ,  $\Delta \delta$  относительно прямоугольных координат пластинки (сканера) X, Y и звездных В-величин до учета и после учета систематических ошибок сканера. Указаны величины: 1) ошибок разностей между сосчитанными и каталожными значениями экваториальных координат σ<sub>α</sub>, σ<sub>δ</sub> и 2) значения уравнения блеска (вычисления сделаны отдельно) mdtX, mdtY для звезд ярче  $B \le 11^m$ .

### 3. Астрометрическая редукция в системе каталога Tycho-2

Для полей 5х5 градусов, как на этапе диагностирования систематических ошибок сканера  $\Delta \alpha$  и  $\Delta \delta$ , так и на этапах редукции прямоугольных координат X, Y объектов в систему экваториальных координат  $\alpha$ ,  $\delta$  каталога Tycho-2 тангенциальные координаты  $\xi$ ,  $\eta$  вычислялись согласно решениям методом наименьших квадратов уравнений по формулам вида (1):

$$\begin{aligned} \xi_i &= a_1 + a_2 X_i f_i + a_3 Y_i f_i + a_4 R_i m_i + a_5 f_i + \sum b_{lm} X_i^{l} Y_i^{m}, \ (l=0\div6, m=0\div6, l+m=n, n=1\div6) \\ \eta_i &= c_1 + c_2 X_i f_i + c_3 Y_i f_i + c_4 R_i m_i + c_5 f_i + \sum d_{lm} X_i^{l} Y_i^{m}, \ (l=0\div6, m=0\div6, l+m=n, n=1\div6) \end{aligned}$$
(1)

где i = 1,2,...N – количество звезд каталога Tycho-2 на пластинке; X<sub>i</sub>, Y<sub>i</sub> и R<sub>i</sub> – координаты и расстояние изображений звезд относительно центра пластинки; m<sub>i</sub> – инструментальные фотометрические величины звезд; f<sub>i</sub> – диаметры изображений звезд (FWHM); коэффициенты a<sub>2</sub>, a<sub>3</sub>, a<sub>4</sub> и c<sub>2</sub>, c<sub>3</sub>, c<sub>4</sub> ответственны за кому, коэффициенты a<sub>5</sub>, c<sub>5</sub> – учитывают влияние уравнения блеска; коэффициенты полного полинома шестой степени (27 членов) b<sub>lm</sub> и d<sub>lm</sub> в обобщенном случае описывают аберрации оптики телескопа, отягощенными систематическими ошибками сканера. На рис. 3 показаны результаты обработки пластинки №410. Слева- ход систематических ошибок телескопа  $\sigma_{\alpha}$ ,  $\sigma_{\delta}$  по полю пластинки, справа – ход остаточных разностей  $\Delta \alpha$ ,  $\Delta \delta$  для сосчитанных и каталожных значений экваториальных координат. Отрицательным и положительным разностям координат соответствуют значки в виде горизонтальных и вертикальных черточек, размер черточек соответствует приведенной на рисунке шкале значений. Величины значений ошибок получены усреднением для ячеек 250х250 пкл.

#### 4. Фотометрия звезд с использованием информации о двух экспозициях

Комбинация характеристических кривых для двух экспозиций предполагает построение характеристической кривой на всем интервале звездных величин, зарегистрированных на фотоэмульсии пластинки. В качестве фотометрических стандартов использовались фотоэлектрические  $B_{pe}$ -величины звезд из каталогов [15,16]. Этапы и принципы построения характеристической кривой астронегатива с учетом фотометрической ошибки поля и с использованием информации о двух экспозициях демонстрируются на рис. 4 и рис. 5 для астронегатива №410 программы ФОН. Рассмотрим рис. 3. На панелях слева, сверху вниз показано связь диаметров изображений звезд и инструментальных фотометрических величин для двух экспозиций: для короткой  $f_2$ ,  $m_2$  и для длинной  $f_1$ ,  $m_1$ . Панели а,с соответствуют всем общим звездам двух экспозиций, а панель е – только звездам, которые использованы в качестве фотометрических стандартов. На правой верхней панели b – аналоги классических характеристических кривых для длинной (1) и короткой (2) экспозиций. Разность звездных величин для двух экспозиций. В анели b – аналоги классических характеристические кривых для длинной (1) и короткой (2) экспозиций. Разность звездных величин для двух экспозиций в шкале фотоэлектрических стандартов  $B_{pe}$  составляет  $\Delta B = 3.123^m$ . На панели d – характеристических стандартов  $B_{pe}$ . На панели f представлена комбинированная из двух экспозиций характеристическая кривая, которая использовалась для редукции

инструментальных фотометрических величин звезд  $m_1$  в систему фотоэлектрических стандартов  $B_{pe}$  системы Джонсона. Точность построения характеристической кривой составляет  $\sigma_1 = \pm 0.142^m$ , коэффициент контрастности фотоэммульсии  $\gamma = -1.03$  (или  $\approx 46^\circ$ ). Аппроксимация характеристических кривых для всех 90 пластинок нулевой зоны выполнена решением методом наименьших квадратов систем уравнений согласно формуле (2):

$$B_{i} = e_{1} + e_{2}X_{i} + e_{3}Y_{i} + e_{4}R_{i} + e_{5}R_{i}^{2} + e_{6}R_{i}^{4} + \sum f_{n}m_{i}^{n}, \quad (n=1,2,\ldots 5), \quad (2)$$

где i = 1,2,...N – количество фотоэлектрических определений для стандартных звезд на пластинке; X<sub>i</sub>, Y<sub>i</sub> и R<sub>i</sub> – координаты и расстояние изображений звезд относительно центра пластинки; m<sub>i</sub> – инструментальные фотометрические величины звезд; коэффициенты e<sub>2</sub>, e<sub>3</sub>, e<sub>4</sub>, e<sub>5</sub>, e<sub>6</sub> ответственны за фотометрическое уравнение (фотометрическую ошибку) поля, а коэффициенты f<sub>1</sub>, f<sub>2</sub>, f<sub>3</sub>, f<sub>4</sub>, f<sub>5</sub> соответствуют функциональному описанию самого вида характеристических кривых. Данный вид формулы (2) выбран как оптимальный в смысле минимизации фотометрических ошибок редукции в систему B<sub>ре</sub> фотоэлектрических стандартов.

На рис. 5 на левой верхней панели – визуализация фотометрической ошибки  $\sigma_m$  по полю пластинки, а справа – индивидуальные разности  $\Delta m$  сосчитанных  $B_{ph}$  и каталожных  $B_{pe}$  величин звезд-стандартов по полю пластинки. Эти разности также даны относительно прямоугольных координат X,Y (панели a, b), расстояния от центра пластинки R (панель c) и колор-индекса B-V (панель d). На панели е показан ход разностей  $\Delta m$  вдоль центрального разреза характеристической кривой, а на панели f – и для звезд Tycho2 ( $B_T \le 11^m$ ,  $0.0^m \le (B-V)_T \le 1.0^m$ ), которые дополнительно использовались для определения фотометрической ошибки поля. На нижней панели g - ход разностей  $\Delta m$  относительно диаметров изображений звезд f<sub>1</sub>.

## 5. Каталог экваториальных координат и В-величин звезд нулевой зоны Китабской части программы ФОН

Версия каталога создана на основании обработки оцифрованных астронегативов при нормальном сканировании пластинок. Каталог содержит 1 795 640 звезд и галактик до  $B_{ph} \leq 16.5^m$  (фотографические величины в системе Джонсона) на эпоху 1983.29 г. Каталог получен из обработки 90 сканов пластинок размером 30x30 см или 13000x13000 рх. Всего на обработанных астронегативах было зарегистрировано более 4 183 000 объектов (звезд, галактик, артефактов прочее). В перекрывающихся зонах пластинок отождествление и отбор кандидатов в звезды и галактики осуществлялся по следующим критериям:

1) по экваториальным координатам -  $\pm$  от значения размера пикселя в секундах дуги (1px  $\approx$  1.45") и 2) по звездным величинам расхождение не должно было превышать  $\pm 2^{m}$  (учет переменных звезд).

Если кандидат встречался хотя бы на двух пластинках по критерию отбора, то он засчитывался в объекты каталога (всего 483 072 звезды и галактики). В табл. 1 для интервалов звездных величин приведено распределение внутренних ошибок определения экваториальных координат  $\sigma_a$ ,  $\sigma_\delta$ , фотометрических величин  $\sigma_{Bph}$ , диаметров изображений звезд f (FWHM), значений интенсивности в центре изображений объектов cInt и количества объектов каталога k. В нижней строке табл. 1 даны средневзвешенные значения вышеперечисленных величин. На панелях а и b рис. 6 представлен ход внутренних ошибок редукции экваториальных координат (точечные ( $\sigma_a$ ) и штриховые ( $\sigma_\delta$ ) линии) и фотометрических величин (непрерывная ( $\sigma_{BJ}$ ) линия) звезд и галактик со звездной величиной  $B_{ph}$  и значением диаметра изображений f (FWHM). Для непекрывающихся участков пластинок отбор кандидатов в звезды и галактики осуществлялся прямым отождествлением объектов с объектами каталога UCAC4 [24].

Сравнение каталога с опорным каталогом Tycho-2 дал результаты, которые в графическом виде показаны на панели с рис. 6 для 64840 звезд. В табл. 2 дано распределение (по интервалам звездных величин) ошибок каталога по отношению к опорной системе каталога Tycho-2 определения экваториальных координат  $\sigma_{\alpha}$ ,  $\sigma_{\delta}$ , фотометрических величин  $\sigma_{BT}$ ,  $\sigma_{BJ}$ , диаметров изображений звезд f (FWHM), значений интенсивности в центре изображений объектов cInt и количество объектов каталога k. Ошибки астрометрической редукции для опорных звезд каталога Tycho-2 не превышают значения  $\sigma_{\alpha\delta} = \pm 0.07$ ".

Было также сделано сравнение сосчитанных экваториальных координат нашего каталога с экваториальными координатами каталога UCAC-4 (панель d рис. 6, точечные ( $\sigma_{\alpha}$ ) и штриховые ( $\sigma_{\delta}$ ) линии). В табл. 3. дано распределение (по интервалам звездных величин) ошибок каталога по отношению к системе каталога UCAC-4 определения экваториальных координат  $\sigma_{\alpha}$ ,  $\sigma_{\delta}$ , и количество объектов каталога k. Ошибки астрометрии нашего каталога по отношению к каталогу UCAC4 составляют  $\sigma_{\alpha} = \pm 0.35$ " и  $\sigma_{\delta} = \pm 0.31$ " (для всех 1 795 640 звезд и галактик).

Ошибки фотометрии были определены сравнением звездных величин нашего каталога с фотоэлектрическими величинами из опорных каталогов (1635 звезд). Результаты представлены на панели d рис. 6. В табл. 4. представлено распределение (по интервалам звездных величин) фотометрических ошибок каталога по отношению к опорной системе фотоэлектрических стандартов определения фотометрических величин о<sub>вph</sub>, диаметров изображений звезд FWHM, значений интенсивности в центре изображений объектов

cInt и количество объектов каталога k. На нижней панели е рис. 6 дано (в логарифмической шкале) распределение количества объектов нашего каталога и каталогов сравнения со звездной величиной.

Каталог положений и В<sub>ph</sub>-величин звезд нулевой зоны Китабской части программы ФОН будет размещен на web-страницах ГАО НАНУ и Астрономического института АН РУз. Каталог на 1 795 640 звезды и галактики до В<sub>ph</sub>  $\leq 16.5^{m}$  на эпоху 1983.2 г. состоит из экваториальных координат  $\alpha$ ,  $\delta$  на равноденствие 2000 г. и В<sub>ph</sub>-величин звезд. Также приводяться ошибки определения этих величин и количество определений, а также дополнительная информация в виде усредненных значений для диаметров изображений звезд f (FWHM) и значений интенсивности в центре изображений объектов cInt.

Таблица 1. Распределение по интервалам звездных величин внутренних ошибок определения экваториальных координат  $\sigma_{\alpha}$ ,  $\sigma_{\delta}$ , фотометрических величин  $\sigma_{Bph}$ , диаметров изображений звезд f (FWHM), значений интенсивности в центре изображений объектов cInt и количество объектов каталога k.

	$B_{\mathtt{ph}}$	σα	$\sigma_{\delta}$	$\sigma_{\text{Bph}}$ F	MHM	cInt	k
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11	6.48 7.61 8.62 9.59 10.59 11.57 12.55 13.56 14.58 15.53 16.21	0.203 0.264 0.148 0.097 0.064 0.057 0.106 0.162 0.179 0.218 0.263	0.356 0.224 0.143 0.094 0.064 0.059 0.107 0.159 0.177 0.215 0.253	0.296 0.264 0.231 0.175 0.134 0.086 0.093 0.116 0.144 0.201 0.193	75.0 62.5 47.4 36.8 26.8 15.2 9.7 7.2 5.9 5.2 4.8	271.9 265.6 297.8 309.0 253.7 232.8 196.9 158.9 110.5 54.8 32.4	4 46 222 1110 3291 9013 18617 38288 88881 238470 85038
12	17.11	0.258	0.289	0.278	4.2 6.0	24.9 80.2	92 483072

Таблица 2. Распределение по интервалам звездных величин ошибок каталога по отношению к опорной системе каталога ТҮСНО-2 определения экваториальных координат  $\sigma_{\alpha}$ ,  $\sigma_{\delta}$ , фотометрических величин  $\sigma_{BT}$ ,  $\sigma_{BJ}$ , диаметров изображений звезд FWHM, значений интенсивности в центре изображений объектов cInt и количество объектов каталога k.

	B <sub>ph</sub>	σα	σδ	$\sigma_{\rm BT}$	σ <sub>bj</sub> F	WHM	cInt	k
1 2 3 4 5 6 7 8	6.62 7.65 8.59 9.59 10.57 11.56 12.44 13.18	0.325 0.271 0.151 0.099 0.069 0.057 0.061 0.076	0.304 0.222 0.146 0.100 0.073 0.059 0.060 0.070	0.581 0.475 0.404 0.328 0.285 0.280 0.360 0.360 0.432	0.496 0.375 0.317 0.243 0.186 0.169 0.261 0.424	76.2 62.2 49.1 37.5 28.9 16.2 10.3 8.1	309.2 287.0 308.9 324.1 263.6 239.3 208.9 193.2	44 211 837 3282 8975 22392 26160 2937
	11.70	0.066	0.066	0.325	0.227	16.9	233.7	64840

Таблица 3. Распределение по интервалам звездных величин ошибок каталога по отношению к системе каталога UCAC-4 определения экваториальных координат σ<sub>α</sub>, σ<sub>δ</sub>, и количество объектов каталога k.

	B <sub>ph</sub>	σα	σδ	k
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12	$\begin{array}{c} 6.61\\ 7.64\\ 8.59\\ 9.59\\ 10.57\\ 11.57\\ 12.55\\ 13.56\\ 14.59\\ 15.57\\ 16.34\\ 17.26 \end{array}$	$\begin{array}{c} 0.475\\ 0.394\\ 0.221\\ 0.127\\ 0.088\\ 0.087\\ 0.165\\ 0.241\\ 0.287\\ 0.344\\ 0.449\\ 0.449\\ 0.449\end{array}$	0.433 0.342 0.186 0.121 0.091 0.089 0.161 0.225 0.259 0.312 0.389 0.427	60 267 953 3529 9580 25404 54163 113647 281567 766417 513838 26070
	15.32	0.349	0.312	1795640

-----

Таблица 4. Распределение по интервалам звездных величин фотометрических ошибок каталога по отношению к опорной системе фотоэлектрических стандартов определения фотометрических величин  $\sigma_{Bph}$ , диаметров изображений звезд FWHM, значений интенсивности в центре изображений объектов cInt и количество объектов каталога k.

 $\sigma_{\text{Bph}}$  FWHM cInt k  $B_{ph}$ \_\_\_\_\_ \_\_\_\_\_ 6.56 0.243 75.5 236.5 32 1 7.53 0.327 59.9 85 2 269.6 3 8.51 0.283 48.5 300.0 176 4 9.53 0.216 37.6 238 317.6 5 10.50 0.172 27.7 275.8 354 6 11.47 18.9 0.153 249.7 331 7 12.53 0.120 10.9 186.4 236 8 13.39 7.5 0.118 154.0 76 9 14.48 0.211 6.2 125.1 51 10 15.54 0.162 5.2 69.2 31 11 16.53 0.369 5.0 47.2 16 10.83 0.191 27.5 247.7 1635 \_\_\_\_\_

#### Подписи к рисункам

Рисунок 1. Этапы и функциональные связи различных параметров при разделении звезд на две экспозиции для оцифрованной пластинки №410.

**Рисунок 2.** Справа и слева показан ход разностей Δα, Δδ относительно прямоугольных координат пластинки (сканера) Х, Y и звездных В-величин до учета и после учета систематических ошибок сканера.

**Рисунок 3.** Результаты обработки пластинки №410. Слева- ход систематических ошибок телескопа  $\sigma_{\alpha}$ ,  $\sigma_{\delta}$  по полю пластинки, справа – ход остаточных разностей  $\Delta \alpha$ ,  $\Delta \delta$  для сосчитанных и каталожных значений экваториальных координат. Отрицательным и положительным разностям координат соответствуют значки в виде горизонтальных и вертикальных черточек, размер черточек соответствует приведенной на рисунке шкале значений. Величины значений ошибок получены усреднением для ячеек 250х250 пкл.

Рисунок 4. Фотометрия звезд с использованием информации о двух экспозициях. Этапы и принципы построения характеристической кривой астронегатива с учетом фотометрической ошибки поля и с использованием информации о двух экспозициях для пластинки №410.

Рисунок 5. Фотометрическая ошибка поля (верхние панели и панели a, b, c, d) и продольный разрез характеристической кривой астронегатива №410 (панели e, f, g).

**Рисунок 6.** Ошибки каталога нулевой зоны Китабской части программы ФОН (1 795 640 звезд и галактик до 16.5<sup>m</sup>). На верхних панелях а и b показано ход внутренних ошибок астрометрии  $\sigma \alpha$ ,  $\sigma \delta$  и фотометрии  $\sigma B_{ph}$  со звездной величиной  $B_{ph}$  и диаметрами изображений звезд f (FWHM). Распределение ошибок при сравнении с опорной системой каталога Tycho-2 дано на панели с. На панели d представлены ошибки  $\sigma \alpha$ ,  $\sigma \delta$  при сравнении с каталогом UCAC-4 и ошибки фотометрии  $\sigma B_{ph}$  при сравнении с опорной системой фотоэлектрических стандартов. Распределение количества звезд сравнения со звездной величиной  $B_{ph}$  дано на нижней панели е.

## Литература

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.

- Андрук В., Пакуляк Л. Дослідження можливости використання сканерів Місгоtek для фотометрії зір// Журнал фізичних 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.
- Андрук В.М., Пакуляк Л.К., Їжакевич О.М., Головня В.В., Яценко А.І., Іванов Г.О., Шатохіна С.В. Астрометрія платівок ДША, оцифрованих двома типами сканерів. Розділення зображень зір двох експозицій // Вісник КНУ ім.Т. Шевченка. Сер. "Астрономія" – 2012 - №48 - С.11-13.
- Андрук В.Н., Головня В.В., Иванов Г.А., Ижакевич Е.М., Пакуляк Л.К., Процюк Ю.И. Создание каталога экваториальных координат и В-величин звезд 60 зоны программы ФОН на основе ОЦА УкрВО //Кинематика и физика небес. тел. -2015, в печати.
- 6. Вавилова И.Б., Пакуляк Л.К., Шляпников А.А., Процюк Ю.И. 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.
- 7. Головня В., Андрук В., Яценко А. Астрометрія платівок ПША, оцифрованих сканером MICROTEK SCANMAKER 9800XL TMA // Журнал фізичних досліджень. -2010. -14. -№2. С.1-8.
- Казанцева Л.В., Шатохина С.В., Процюк Ю.И., Ковылянская О.Э., Андрук В.Н. Результаты обработки оцифрованных фотографических наблюдений Плутона из коллекций УкрВО //Кинематика и физика небес. тел. -2015. – 31. - №1. – С.58-80.
- 9. 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.
- Процюк Ю.И., Мартынов М.В., Мажаев А.Э., Ковылянская О.Э., Процюк С.В., Андрук В.Н. 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. – C.54-65.
- Яценко А.И., Андрук В.Н., Головня В.В., Пакуляк Л.К., Иванов Г.А. 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.
- 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 Celectial Bodies. Suppl. -2005. N5. –P.413-416.
- Andruk V.M., Golovnya V.V., Ivanov G.A., Izhakevich E.M., Pakuliak L.K., Protsyuk Yu.I., Shatokhina S.V., Yatsenko A.I., Muminov M.M. –Compilation of catalog of stellar equatorial coordinates and Bmagnitudes using UkrVO plate database //Odessa Astron. Publ. -2014. V.27, is.1. p.53-54.
- 14. ESO-MIDAS users quide. Gaching. 1994. Vol. A,B,C.
- Kornilov V.G., Volkov I.M., Zakharov A.I., Kozyreva V.S., Kornilova L.N., Krutyakov A.N., Krylov A.N., Kusakin A.V., Leontiev A.V., Mironov A.V., Moshkaliov V.G., Pogrosheva T.M., Sementsov V.N., Khaliulin Kh.F. -1991, in Kornilov V.G. (ed.): Catalogue of WBVR magnitudes of bright stars in the Northen sky, Trudy Gosudarstvennogo astronomicheskogo insituta im. Sternberga, 63, Moskow University.
- 16. Mermilliod J.C. Homogeneous means in the UBV system. Institut d'Astronomie. Universite de Lausanne, 1991.
- 17. Muminov M.M., Yuldoshev Q.X., Ehgamberdiev Sh.A., Kahharov B.B., et.al. Astrometry of χ and h Persei based on processing of digitized plates of archive of the Astronomical Institute of the Academy of Sciences of the Rebublic of Uzbekistan // Odessa Astron. Publ., -2014, v.27. Is.1, p.57-58.
- 18. 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, v.27. Is.1, p.59-60.
- 19. Protsyuk Yu.I., AndrukV.N., Muminov M.M., Yuldoshev Q.X., et al. Method for evaluating the astrometric and photometric charakteristics of commercial scanners in their application for the scienrific purpose // Odessa Astron. Publ., -2014, v.27. Is.1, p.61-62.
- 20. Protsyuk Yu.I., Kovylianska O.E., Protsyuk S.V., Andruk V.M. Results of processing of astronegatives with commercial scanner // Odessa Astron. Publ., -2014, v.27. Is.1, p.63-64.
- 21. Vavilova I., Golovnya V., Andruk V., Pakuliak L., et al. The scientific use of the UkrVO joint digital archive: GRBs fields, Pluto, and satellites of outer planets // Odessa Astron. Publ., -2014, v.27. Is.1, p.65-66.
- 22. Vavilova I.B., Pakuliak L.K., Protsyuk Yu.I., Shlyapnikov A.A., et al. UkroVO Joint Digitized Archive and Scientific Prospects //Baltic Astronomy. -2012, v.21, N3, p.356-365.
- 23. Yizhakevich O., Andruk V., Pakuliak L., Lukianchuk V., Shatochina S. Positional catalogues of Saturns and Jupiters Moons // Odessa Astron. Publ., -2014, v.27. Is.1, p.67-68.
- 24. Zacharias N., Finch C.T., Girard T.M., Henden A., Bartlett L., Monet D.F., Zacharias M.I. The fourth US Naval Observatory CCD Astrograph Catalog (UCAC4) // Astron. J. -2013. -145. -44.





Plate NO410, DAZ, KITAB







