УДК 521.96

С. Шатохіна, В. Андрук, А. Яценко

ПЕРШІ РЕЗУЛЬТАТИ АСТРОМЕТРИЧНОЇ ТА ФОТОМЕТРИЧНОЇ ОБРОБКИ СКАНОВАНИХ ПЛАТІВОК ПДА ГАО НАНУ

В даній роботі вперше зроблена оцінка астрометричних та фотометричних результатів обробки оцифрованих зображень по платівкам телескопу ПДА. Оцифровка платівок виконана на сканері Microtek ScanMaker 9800XL TMA. Обробка зображень зроблена в пакеті LINUX/MIDAS/ROMAFOT. Для вибраних платівок ПДА середні квадратичні похибки одного зображення складають 0.06″ та 0.13^m для обох екваторіальних координат (в системі каталога TYCHO-2) та зоряних величин (в системі В Джонсона). Похибки мають випадковий характер і не мають систематичної залежності від координат, величин та кольору зірок. Отримані результати також були порівняні з раніш обробленими вимірами цих самих платівок на ПАРСЕК.

In the paper the first estimation of astrometric and photometric results of digitization of images on plates of Double Long Focus Astrograph (DLFA) was made. The digitization of plates was carried out with the scanner Microtek ScanMaker 9800XL TMA. For image processing the package LINUX/MIDAS/ROMAFOT was used. For selected plates DLFA mean square errors for equatorial coordinates (in a system of TYCHO-2 catalogue) and stellar magnitudes (in the Johnson B-system) per one image are 0.06″ та 0.13^m. The errors are of random nature and there are no systematic dependences on coordinates, magnitudes and colour of stars. The comparison of obtained results with that of earlier plate measurements obtained with complex PARSEC was made.

Склотека телескопу ПДА. В попередні роки в ГАО НАНУ завершені роботи по впорядкуванню скляних архівів спостережень і створенню їх електронних аналогів в міжнародному форматі WFPDB. Створена база даних голосіївського архіву платівок DBGPA V2.0 (http:/www.mao.kiev.ua/ardb/index_new.php). Значною складовою частиною її є фотографічні спостереження на подвійному довгофокусному астрографі (телескоп ПДА). Спостереження велись на протязі 1949-1986 рр. За цей період отримано 9135 платівок, що відповідають 15276 знімкам (експозиціям) зоряного неба. Згідно наукових програм, що велись на телескопі ПДА, отримано таку кількість платівок: фундаментальні зорі – 1854, планети – 1505, галактики – 1181, астероїди – 927, змінні зорі – 832, зорі – 703, подвійні зорі – 719, зоряні скупчення – 535. комети – 190, зоряні поля – 587, інше – 102. Для подальшого оцифрування платівок ПДА і знаходження найбільш оптимальних шляхів астрометричної і фотометричної обробки сканованих зображень вибрано 3 платівки ПДА з зображеннями далеких планет та їх супутників.

Обробка сканованих платівок в MIDAS. Перший досвід продуктивної обробки оцифрованих платівок шляхом сканування в ГАО був отриманий в 1999 р. [1]. В результаті виконаної роботи для поля 3.3°x2.5° (4094x3100 пкл) був отриманий каталог положень та величин 700 зірок в системі R Джонсона для скупчення Гіади. При масштабі телескопу 172″/мм і масштабі сканування 2.86″/пкл астрометрична та фотометрична точність склала 0.65″ и 0.12^m відповідно. В подальшому були виконані тестові роботи для полів великих розмірів з використанням планшетних сканерів Microtek ScanMaker 4 и Microtek ScanMaker 9800XL TMA. Для астронегативів подвійного ширококутного астрографа (телескоп ПША) розміром 6.4°x6.4° (24x24 см або 7140x7800 пкл) при роздільній здатності сканування 900 dpi (ScanMaker 4) точність астрометрії і фотометрії в системі каталога TYCHO-2 склала 0.1÷0.3″ та 0.15÷0.20^m відповідно [2]. Для 1.2 м телескопа Шмідта в Балдоне при скануванні з 1000 dpi платівок (експонованих в U смузі) розміром 24x24 см (9375x9250 пкл) також досягнута точність 0.1÷0.3″ и 0.1÷0.2^m відповідно для координат і величин зірок [3]. Дані про астрометричну та фотометричну точність для зірок сканованих платівок відносно масштабів телескопів, масштабів сканування тощо наводяться в табл. 1. Номерам №1-№4 відповідають телескопи: №1 – менісковий телескоп Максутова Астрономічної обсерваторії ім. Енгельгардта в Казані, №2 – 1.2 м телескоп Шмідта в Балдоне, №3 – ПША ГАО НАНУ, №4 – ПДА ГАО НАНУ.

Платівки скануються на планшетному сканері Microtek ScanMaker 9800XL TMA з роздільною здатністю 1200 dpi. В роботі [5] викладені результати детального дослідження сканера, що мають практичне застосування. Із порівняння результатів обробки оцифрованих файлів з різними градаціями сірого (16 чи 8 розрядів) зроблено оцінку точності розробленого методу визначення прямокутних координат і фотометрії об'єктів в пакеті MIDAS/ROMAFOT. Випадкові похибки в інструментальній системі складають ±0.0035 пкл для координат і ±0.011^m для зоряних величин відповідно. Для оцінки повторюваності астрометричних і фотометричних похибок сканера було оброблено чотири послідовних скани однієї і тієї ж платівки з роздільною здатністю 1200 dpi. Отримано такі оцінки похибок: ±0.034÷0.059 пкл і ±0.012÷0.014^m для прямокутних координат і інструментальних зоряних величин.

***Таблиця* 1. Астрометрична та фотометрична точність для зірок відносно деяких характеристик астронегативів з різних телескопів**

№	D/F	Смуга	Експозиція	Масштаб	Поле	σ_α	σ_δ	σ_m
1	0.35/1.2	R	40 хв	172″/мм(2.86″/пкл)	3.3°x2.5°	0.68″	0.64″	0.12^m
2	1.20/2.4	U	20	86 2.16	R =4.8°	0.17	0.24	0.18
3	0.40/2.0	B	18	103 2.15	8°x8°	0.17	0.18	0.20
4	0.40/5.5	B_{ph}	20	38 0.78	2°x2°	0.06	0.08	0.13

Оцифровані зображення зоряних полів у форматі fits-файлів оброблені в програмному середовищі LINUX/MIDAS/ROMAFOT [7]. В ГАО НАНУ розроблені та реалізовані в пакеті MIDAS методи обробки оцифрованих астронегативів великих розмірів (13000x 13000 пкл) для об'єктів всього інтервалу характеристичної кривої. В роботі [4] викладені основні етапи процесу обробки оцифрованих платівок з автоматичним виключенням фотометричного рівняння поля.

© Шатохіна С., Андрук В., Яценко А., 2011

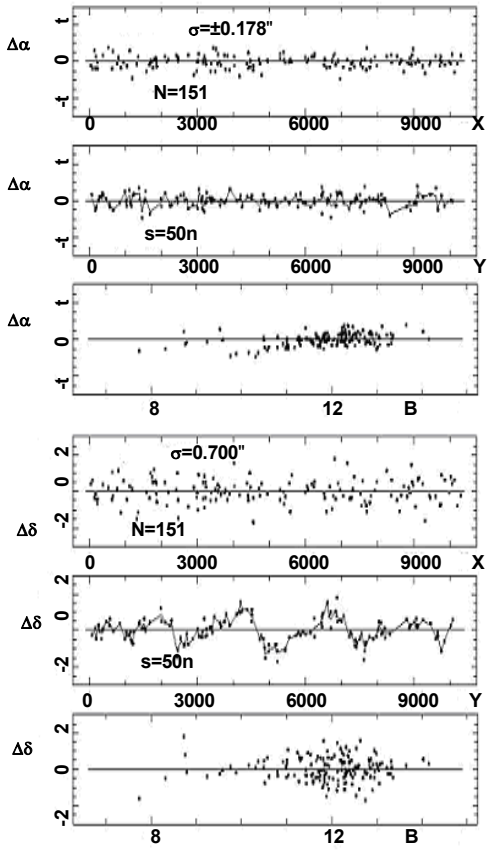

Рис. 1. Не кориговані різниці Δα, Δδ між виміряними та каталожними координатами для прямих сходжень і схилень зірок каталогу TYCHO-2. Різниці подано відносно прямокутних координат X,Y і зоряних величин B каталогу TYCHO-2

Астрометрія платівок ПДА. Із програми обробки оцифрованих файлів ми отримуємо прямокутні координати (в пкл) і фотометричні інструментальні дані про зоряні величини зареєстрованих об'єктів. В якості опорного каталогу використовувся каталог TYCHO-2, поскільки він має досить точні значення власних рухів зірок. Опорні зірки вибирались по всьому полю платівок розміром 2°x2°. Результати астрометричної обробки платівок ПДА розглянемо на прикладі обробки платівки №356, що експонована 24 лютого 1963 р. На рис. 1 демонструється хід (не коригованих за інструментальні похибки сканера) різниць $\Delta\alpha$, $\Delta\delta$ між виміряними та каталожними координатами для прямих сходжень α і схилень δ зірок каталогу TYCHO-2. Різниці подано відносно прямокутних координат X, Y і зоряних величин B каталогу TYCHO-2. Помітно систематичні відхилення виміряних координат α, δ відносно координати Y (напрям руху вимірювальної ПЗЗ-лінійки). Відмітимо, що для телескопу з масштабом m = 206265/5500 = 38″/мм при скануванні з роздільною здатністю 1200 dpi масштаб сканування приблизно складає 1 пкл = 0.78″, а точність отримуваних екваторіальних координат (після корекції за похибки сканера і редукції прямокутних координат X, Y в систему тангенціальних координат ξ, η) для опорних зірок трьох тестових платівок лежить в межах $\sigma_{\alpha,\delta} \approx 0.04 \div 0.09''$ (див. табл. 2). Загалом, точність для координати Y (δ) гірша, ніж для координати X (α). Можлива, але не до кінця досліджена, причина цього явища в систематичному ході масштабу відносно координати Y.

Фотометрія платівок ПДА. Як відомо, зв'язок між виміряними зоряними величинами і реальною шкалою зоряних величин для фотографічної емульсії існує в вигляді характеристичної кривої. Для випадку фотоелектричних стандартів характеристична крива для B смуги Джонсона при експозиції 20 хвилин має вигляд, показаний зліва на рис. 2. Справа – характеристична крива для B величин каталогу TYCHO-2. Приклад демонструється для платівки №356 телескопу ПДА ($\alpha = 10^h\ 23^m$, $\delta = 10°\ 55'$) з експонованим в центрі Ураном та його супутниками Титанія та Оберон, які в табл. 2 позначені як 3 і 4 (стовпчик №9). Фотоелектричні величини зірок взяті з каталогів [6, 8, 9]. Похибки редукції в систему B фотоелектричних стандартів (кола) та систему B каталога TYCHO-2 (точки) складають $\pm 0.13^m$ та $\pm 0.27^m$ відповідно. В нижній частині рис. 2 показано хід фотометричних різниць ΔB між визначеними і каталожними зоряними величинами по полю платівки відносно прямокутних X, Y; з зоряною величиною B та показником кольору B-V в системі Джонсона.

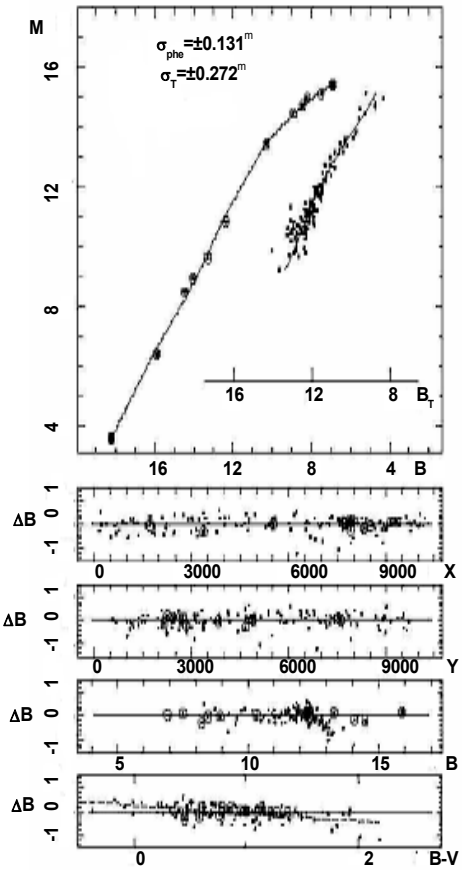

Рис. 2. Зверху – характеристичні криві астронегативу №356 телескопу ПДА. Внизу – хід фотометричних різниць між визначеними і каталожними зоряними величинами відносно прямокутних координат X та Y, з зоряною величиною B і показником кольору B-V в системі Джонсона

***Таблиця* 2. Результати обробки трьох сканованих платівок телескопу ПДА**

№	N_T	σ_α	σ_δ	N_p	σ_B	N_T	σ_B	n_s	Δ_α	Δ_δ	Δ_α	Δ_δ
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
356	149	0.039″	0.087″	10	0.13^m	120	0.27^m	34	-0.19″ +0.02	+0.09″ -0.08	+0.35″ +0.23	+0.47″ +0.45
407	136	0.053	0.069	8	0.07	107	0.27	34	+.060 +0.47	-0.60 -0.10	+0.20 +0.10	+0.09 +0.10
2693	136	0.073	0.076	9	0.24	101	0.29	34	+0.06 +0.36	+0.77 +0.74	+0.25 +0.10	+0.32 +0.38

Стосовно фотометричних різниць ΔB для зірок каталогу TYCHO-2 можна відзначити їх систематичний хід відносно кольору зірок B-V.

Висновки. Результати обробки трьох платівок ПДА, експонованих за програмою спостережень тіл Сонячної системи, демонструються в табл. 2. В табл. 2 подано наступні результати за номерами стовпчиків: №1 – номер платівки ПДА; №2 – кількість опорних зірок каталогу TYCHO-2 на платівці; №3-4 – точність отриманих екваторіальних координат для опорних зірок; №5 – кількість фотоелектричних стандартів; №6 – точність фотометрії в системі Джонсона; № 7- кількість зірок TYCHO-2 для побудови характеристичної кривої; №8 – точність фотометрії в системі каталога TYCHO-2; №9 – номери супутників Урану: 3 – Тітанія, 4 – Оберон; №10-11 – різниці між отриманими і ефемеридними координатами супутників для випадку обробки оцифрованих платівок; №12-13 – аналогічні різниці для випадку обробки платівок після вимірів на координатно-вимірювальній машині ПАРСЕК. Загальні висновки такі. Астрометрична і фотометрична обробка сканів вибраних платівок ПДА показала високу точність отриманих координат та зоряних величин. Так для оцифрованих платівок в системах опорних каталогів $\sigma_{\alpha,\delta} \approx 0.04 \div 0.09''$ та $\sigma_B \approx \pm 0.13^m$. Ці похибки в 2 рази менші за аналогічні ($\sigma'_{\alpha,\delta} \approx 0.10 \div 0.12''$), отримані для опорних зірок після обробки згаданих платівок по вимірам на ПАРСЕК. При порівнянні точних положень супутників, отриманих по різним вимірам платівок, внаслідок малої кількості положень суттєвих відмінностей не виявлено.

1. Андрук В.М., Парусімов В.Г., Дудник Т.Б., Островський Д.Ю. Каталог положень та величин в системі R Джонсона 700 зірок в Гіадах. Вимірювання, астрометрична та фотометрична обробка фотоплатівок // Кинематика и физика небес. тел. – 1999. – Т. 15, №6. – С. 489-500. 2. Андрук В.Н., Иванов Г.А., Погорельцев М.Т., Яценко А.И. Об опыте использования сканера для измерений и фотометрии пластинок программы ФОН // Кинематика и физика небес. тел. – 2005. – Т. 21, №5. – С. 396-400. 3. Андрук В., Пакуляк Л. Дослідження можливости використання сканерів Microtek для фотометрії зір // Журнал фізичних досліджень. – 2007. – Т. 11, №3. – С. 329-333. 4. Андрук В.М., Бутенко Г.З., Яценко А.І. Фотометрія платівок, оцифрованих сканером Microtek ScanMaker 9800XL TMA // Кинематика и физика небес. тел. – 2010. – Т. 26, №3. – С. 76-82. 5. Головня В., Андрук В., Яценко А.

Астрометрія платівок ПША, оцифрованих сканером Microtek ScanMaker 9800XL TMA // Журнал фізичних досліджень. – 2010. – Т. 13. 6. Bucciarelli B. et al., Guide star photometric catalog. Version 2.4. – Spagna. – 2001. 7. ESO-MIDAS users guide. – Garching, 1994. – Vol. A, B, C. 8. Lasker B.M., Russel J.N., Jenkner H. The Guide Star Catalog. Version 1.1 – ACT. // The Assotiation of Universities for Researh in Astronomy, Inc. – 1996. 9. Mermilliod J.C. Homogeneous means in the UBV system // Institut d'Astronomie, Universite de Lausanne. – 1991.

Надійшла до редколегії 08.06.10

УДК 524.7; 323.2

П. Федоров, В. Ахметов

XPM И HIPPARCOS КАК РЕАЛИЗАЦИЯ ВНЕГАЛАКТИЧЕСКОЙ ОПОРНОЙ СИСТЕМЫ КООРДИНАТ. ИХ ОБЩНОСТЬ И РАЗЛИЧИЯ

Проведено аналіз двух сучасних оптичних реалізацій позагалактичної опорної системи координат – Hipparcos та XPM. Показано, що системи, які розповсюджують HCRF на слабкі зірки мають помітні систематичні помилки, пов'язані з рівнянням блиску. Також показано, що система Hipparcos/UCAC2 має залишкове обертання. Оцінки компонент вектора обертання ωx, ωy, ωz = (−0.06 ± 0.15, 0.17 ± 0.14, −0.84 ± 0.14) мсд/рік.

The analysis of two modern optical realizations of the extragalactic coordinate reference systems – the Hipparcos and the XPM catalogues was performed. It is shown that the systems, which are expanding the HCRF into the faint stars, have the appreciable systematic errors induced by a magnitude equation. It is shown also that the Hipparcos/UCAC2 system have a residual rotation. There are the estimations of the components of rotation vector: ωx, ωy, ωz = (−0.06 ± 0.15, 0.17 ± 0.14, −0.84 ± 0.14) mas/yr.

Введение. На рубеже 20-21 веков в астрономии в качестве стандарта была введена новая система координат, получившая название International Celestial Reference System (ICRS) [1]. Она сменила прежнюю систему координат, которая была реализована каталогом FK5. Основные определения новой системы координат даны в нормативных документах Международного астрономического союза (МАС).

Первоначальная реализация этой системы координат (608 источников) получила название International Celestial Reference Frame (ICRF) [19]. Направления ее осей фиксируются положениями 212 базовых точечных внегалактических радиоисточников, полученных наземными РСДБ методами с точностью порядка 0.5 миллисекунды дуги (мсд). С 01.01.2010 по решению Генеральной Ассамблеи МАС ICRF был заменен на ICRF2 [11], который содержит уже 3414 объектов и 295 определяющих опорных источников. Однако прямое использование системы ICRF при позиционных наблюдениях в видимом и инфракрасном диапазонах практически невозможно из-за малого количества опорных объектов и их низкой светимости. Поэтому для оптического диапазона вместо ICRF был создан его аналог – HCRF на основе результатов измерений, выполненных на борту космического аппарата Hipparcos.

Hipparcos как первая реализация ICRS в оптическом диапазоне. Как известно, окончательная привязка данных космического спутника Hipparcos к ICRF была выполнена в работе Ковалевского и др. [15]. Целью этой привязки было введение в оптическом диапазоне системы координат, заданной каталогом Hipparcos [8] и наилучшим образом согласованной с ICRF. В результате, как отмечают авторы [15], ориентация осей системы отсчета Hipparcos по отношению к ICRF зафиксирована путем прямой привязки положений звезд Hipparcos в эпоху J1991.25 к их радио положениям в ICRF с точностью ± 0.6 мсд. Вращение системы осей Hipparcos было зафиксировано путем привязки его собственных движений к любым внешним источникам, включая галактики, которые не обязательно присутствуют в ICRF, с точностью ± 0.25 мсд/год. Уже во второй части этого утверждения присутствует некоторая неточность в формулировке. Отсутствие среди объектов каталога Hipparcos внегалактических источников (кроме квазара 3C273B) не позволяет выполнить непосредственную привязку к внегалактическим объектам. А потому, для определения величины остаточного вращения $\omega(\omega_x, \omega_y, \omega_z)$ системы H37C была использована модель, описываемая уравнениями [18]:

$$\Delta\mu_\alpha \cos\delta = \omega_x \cos\alpha \sin\delta + \omega_y \sin\alpha \sin\delta - \omega_z \cos\delta \quad (1)$$

$$\Delta\mu = -\omega_x \sin\alpha + \omega_y \cos\alpha , \quad (2)$$

где в левых частях находятся разности собственных движений звезд вида (H37C – абсолютный каталог).

Из вида этих уравнений следует, что привязка осуществлялась не к внегалактическим источникам, а к системам собственных движений каталогов, реализуемых либо абсолютными собственными движениями наземных фотографических программ, либо собственными движениями 12 радио звезд, которые в свою очередь были привязаны к оптическим источникам (галактикам) и внегалактическим радио источникам (квазарам) с определенной точностью. В результате использования различных систем собственных движений звезд, индивидуальные решения $\omega(\omega_x, \omega_y, \omega_z)$, полученные методом наименьших квадратов оказались несовместимыми. Поэтому окончательное объединенное решение было получено формальным осреднением (с учетом весов) индивидуальных решений. Здесь следует заметить, что примерно половина общего веса в конечном решении оказалась принадлежащей SPM [12] программе и VLBI наблюдениям. Это означает, что в северной полусфере вклад фотографических наблюдений в согласование систем такой же, как и VLBI данных. А в южной полусфере этот вклад является подавляющим, поскольку там имеется лишь одна звезда из 12 VLBI данных. К тому же, распределение внегалактических источников – галактик на юге очень неудачно, поскольку они покрывали всего лишь зону склонений от -20 до -45 градусов и небольшую область вблизи южного полюса. Таким образом, основной вклад в конечное решение был внесен данными фотографических наблюдений.

Таким образом, принятое в работе [15] значение оценки инерциальности каталога HIPPARCOS (0.25 мсд/год) скорее всего отражает не инерциальность последнего, а точность определения величины взаимного вращения систем отсчета, задаваемых сравниваемыми каталогами. Инерциальность наземных каталогов определяется точностью абсолютизации, – процедуры, которая характеризует точность приведения наблюдаемых движений к системе осей, не вращающихся в пространстве. Поскольку привязка собственных движений звезд из использованных фото-

© Федоров П., Ахметов В., 2011