

## ДОСЛІДЖЕННЯ МОЖЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ СКАНЕРІВ MICROTEK ДЛЯ ФОТОМЕТРІЇ ЗІР

В. Андрук, Л. Пакуляк  
Головна астрономічна обсерваторія НАН України  
вул. Заболотного, 27, Київ, 03680, Україна  
(Отримано 21 грудня 2006 р.)

У зв'язку зі створенням онлайн бази даних астрономічних негативів і подальшим її оцифруванням досліджено можливість використання для цього планшетного сканера Microtek Scan Maker XL9800 TMA і порівняно його зі сканером Microtek Scan Maker 4 та вимірювальною машиною ПАРСЕК. Для тестових вимірювань використано платівки, що експоновані з двома експозиціями в  $U$ -смуді на телескопі системи Шмідта в межах наукового проекту МЕГА. Визначено прямокутні координати та фотометричні величини зірок методом цифрової обробки зображень зоряних полів у програмному пакеті MIDAS/ROMAFOT у системі каталога ГУСНО-2. Після виключення систематичних різниць між координатами сканера й опорного каталога середньоквадратичні похибки одного визначення положення становлять  $\pm 0.3''$  вздовж координати  $X$  і  $\pm 0.8''$  вздовж координати  $Y$ . Середньоквадратична похибка одного визначення зоряних величин для лінійних частин характеристичних кривих має значення  $\pm 0.1^m - 0.2^m$ . Для виключення фотометричної похибки по полю платівки використано метод великомасштабної фотометричної корекції оцифрованого зображення.

**Ключові слова:** астронегатив, сканування, база даних скляних архівів.

PACS number(s): 95.75.-z, 95.75.De, 95.75.Mn, 95.75.Tv, 95.80.+p

### I. ВСТУП

У порівнянні з експоненційно зростаючими обсягами даних від сучасного астрономічного інструментарія ємність світових архівів фотографічних платівок є не настільки великою, як здавалось кілька років тому. Але важливість даних, які більше не можуть бути відтворені ніякими інструментами, суттєво зросла в межах принципово нової концепції Віртуальної обсерваторії (ВО). Одним із найважливіших завдань у межах цієї концепції є збереження цих даних, трансформація їх у цифрову форму і накопичення в електронному середовищі з метою створення єдиного віртуального астрономічно-інформаційного простору. Цифрові клони платівок можуть бути корисними як для локальних наукових програм, так і для широкого спектра астрономічної діяльності в контексті ВО.

У Головній астрономічній обсерваторії НАН України за різними спостережними програмами накопичено величезний спостережувальний матеріал у вигляді астронегативів різного формату в різних фотометричних системах видимої ділянки спектра. Часовий інтервал архіву становить понад 50 років (1949–1991). Кількість платівок тільки прямих астрономічних спостережень нараховує понад 20 000, астронегативи отримані в межах як спеціалізованих програм в окремих ділянках неба з цікавими з астрономічного погляду об'єктами, так і за проектом фотографічного огляду північного неба, результатом якого є каталог 2 мільйонів зірок до 14 зоряної величини [1]. Загальна кількість платівок архіву сягає 80 000 зі спектральними знімками включно [2].

У зв'язку зі світовими тенденціями віртуалізації астрономічних архівів і відкритістю їх для використан-

ня світовою астрономічною спільнотою в ГАО розпочато роботи зі створення онлайн бази даних астронегативів, яка на поточний момент повністю адаптована до вимог Робочої групи з WFPDB (Wide-Field Plate Database), включена до Страсбурзького архіву астрономічних даних і має власний інтерфейс доступу та пошуку даних [2,3].

### II. ПОПЕРЕДНІЙ ДОСВІД СКАНУВАННЯ АСТРОНЕГАТИВІВ

Наступним кроком на шляху віртуалізації архіву астронегативів повинні стати оцифрування змісту платівок та створення засобів зберігання, доступу та пошуку оцифрованих даних із використанням форматів та протоколів ВО. Оцифрування платівок заплановано виконати за допомогою планшетного сканера Microtek Scan Maker XL9800 TMA ГАО НАН України. Прийнято оптичне розрізнення 1000–1200 dpi (розмір пікселя близько 15 мікрон) з максимально можливою глибиною кольору.

На початку роботи зі створення онлайн бази даних для сканування платівок були протестовані сканери малого формату А4 моделей Agfa і Mustek. Сканування виконували з оптичним розрізненням 600 dpi та глибиною кольору 256 градацій сірого. На двох платівках ширококутного астрографа зі зкупченням NGC-6913 отримано фотометричні характеристики із зовнішньою точністю 0.13–0.15<sup>m</sup> [4]. Перші спроби використання планшетного сканера для отримання астрометричної й фотометричної інформації з платівок програми ФОН показали, що за умови ретельного вивчення систематичних похибок сканованого матеріалу

лу, встановлення оптимального режиму сканування та розробки відповідної методики обробки, зокрема подвійного сканування з поворотом платівки на  $90^\circ$ , можна отримати положення об'єктів із точністю  $0.1\text{--}0.3''$ , зоряних величин — з точністю  $0.15\text{--}0.20^m$ . Сканування виконано на планшетному сканері Microtek Scan Maker 4 Обсерваторії Київського університету [5].

### III. МАТЕРІЯЛИ ТА ІНСТРУМЕНТИ

Сканер Microtek Scan Maker XL9800 ГАО НАН України дає змогу сканувати платівки розміром  $30 \times 30$  см. Для тестування використано платівки, що експоновані в U-смугі в березні 1987 р. на телескопі системи Шмідта в Балдоне ( $\lambda = 24.41^\circ$ ,  $\phi = 56.61^\circ$ ) у межах спостережної програми МЕГА. Діаметр головного дзеркала телескопа — 1.2 м, масштаб —  $86.0''/\text{мм}$ . Платівки експоновані з двома експозиціями: 1200 с та 40 с (довга та коротка експозиції відповідно), формат платівок —  $24 \times 24$  см, емульсія — ORWO ZU-21,

фільтр UG1 (1.9 мм), невін'єтоване поле  $4^\circ 46'$ . Для порівняння результатів декілька платівок були відскановані додатково на сканері Microtek Scan Maker 4 і виміряні на координатно-вимірювальному комплексі ПАРСЕК ГАО НАН України, який попередньо використовувався для вимірювань платівок програми ФОН. Сканували з просторовим розрізненням 900 (Maker 4) та 1000 (Maker XL9800) dpi. Розміри полів для режиму сканування 1000 dpi становлять  $9375 \times 9250$  пкл. Інформація про скановані платівки (або оцифровані астрономічні зображення зоряних полів) зберігається у вигляді файлів формату file.TIFF з градацією відтінків сірого 16 біт. Перетворення файлів формату file.TIFF в астрономічний формат file.FITS виконано за допомогою програмного пакета GIMP в операційній системі LINUX, що зменшувало глибину кольору до 8 біт. Ідентифікація об'єктів та визначення їх астрометричних і фотометричних характеристик виконані засобами програмного фотометричного пакету ROMAFOT у середовищі LINUX/MIDAS [6].

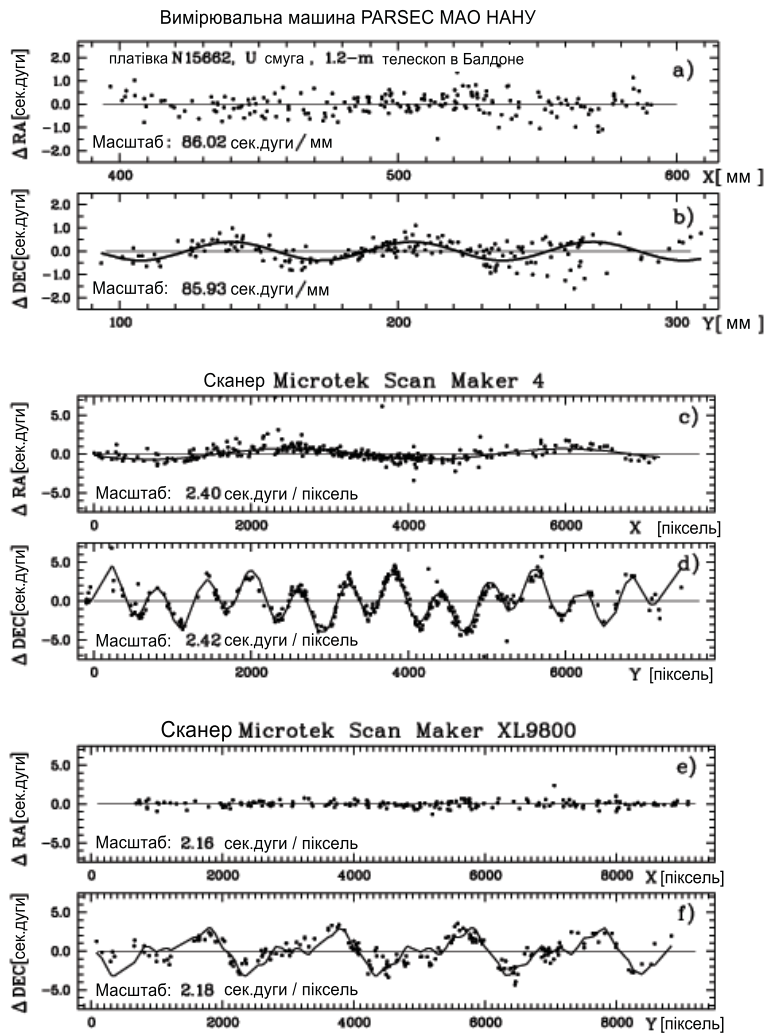


Рис. 1. Хід різниць між виміряними та каталожними координатами зірок каталога TYCHO-2 до внесення корекції за інструментальні похибки для ПАРСЕК (а, б) та сканерів Maker 4 (с, д) і Maker XL9800 (е, ф).

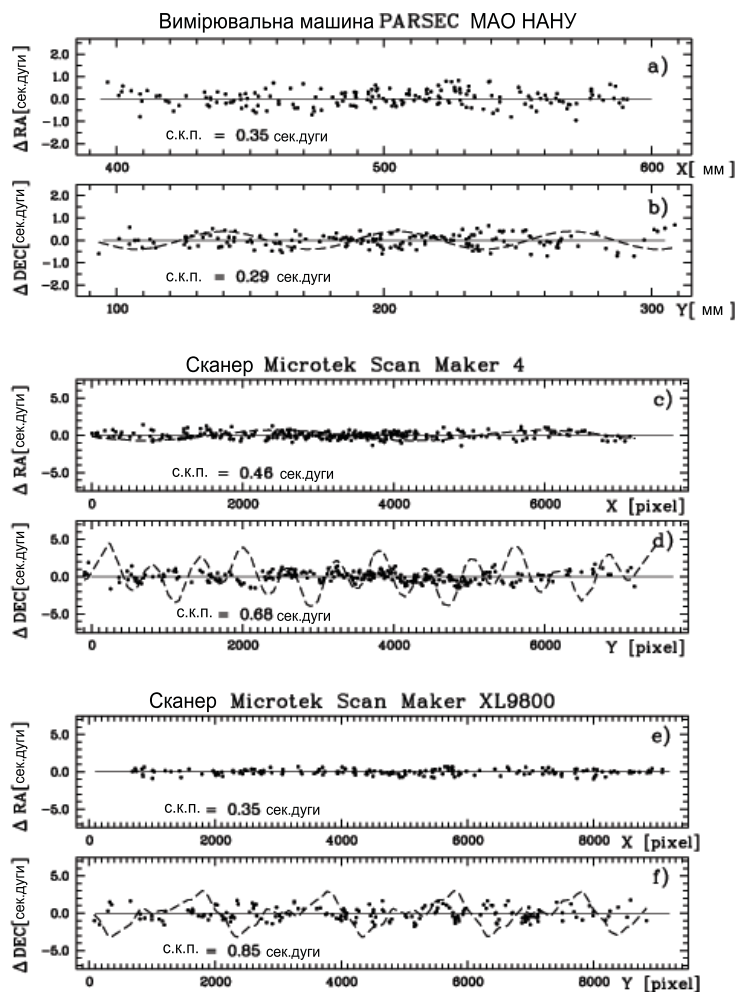


Рис. 2. Хід різниць між коригованими виміряними та каталожними координатами зірок каталогу ГУСНО-2 після внесення корекції за інструментальні похибки для ПАРСЕК (a, b) та сканерів Maker 4 (c, d) і Maker XL9800 (e, f).

#### IV. ОБРОБКА СКАНІВ У MIDAS/ROMAFOT

Оцифровані зображення зоряних полів у вигляді FITS-файлів оброблялися в програмному середовищі LINUX/MIDAS/ROMAFOT для отримання прямокутних координат  $X$ ,  $Y$  та інструментальних зоряних величин  $I_1$ ,  $I_2$  об'єктів для двох експозицій. У фотометричному пакеті ROMAFOT попередньо були змінені формати реєстрації й обміну даних, кадри зображень великих розмірів (понад  $2500 \times 2500$  пкл і до  $9375 \times 9250$  пкл) оброблялися частинами, а саме, з автоматичним розбиттям на смуги щодо осі абсцис. Зони перекриття вздовж координати  $X$  становили 50 пкл. У пакеті MIDAS для виключення фотометричної похибки зоряних величин по полю платівки використано метод визначення плоского поля шляхом видалення зареєстрованих об'єктів. Для яскравих зірок (перетримана частина характеристичної кривої) додавали відсутні гауссподібні верхівки, які знаходили відповідно за методами, аналогічними до тих, що були використані в [7] для обробки CCD-спостережень. Попередньо підготовлений таким чином кадр зображення далі обробляли у фотометричному пакеті RO-

MAFOT із заданими параметрами для отримання астрометричних і фотометричних характеристик об'єктів: прямокутних координат  $X$ ,  $Y$  в системі координат платівки, фотометричних величин в інструментальній системі, значення інтенсивностей у центрі та повної ширини на половині максимальної інтенсивності (FWHM) для двовимірного гауссового розподілу інтенсивності зображень зірок.

У MIDAS/ROMAFOT був реалізований автоматичний режим, коли з кадром зображення виконували такі операції: фільтрація, пошук об'єктів, визначення інструментальних положень і зоряних величин. Прямокутні координати, зоряні величини та інші характеристики об'єктів фіксували з точністю до  $\pm 0.001$  величини.

#### V. АСТРОМЕТРІЯ ЗІРОК

Для платівок телескопа Шмідта за модель трансформації координат прийнято неповний кубічний поліном. У нашому випадку він має вигляд

$$\xi_i = a_1 X_i + b_1 Y_i + c_1 + d_1 X_i^2 + e_1 X_i Y_i + f_1 Y_i^2 + g_1 X_i (X_i^2 + Y_i^2) + D X_i, \quad (1)$$

$$\eta_i = a_2 X_i + b_2 Y_i + c_2 + d_2 X_i^2 + e_2 X_i Y_i + f_2 Y_i^2 + g_2 Y_i (X_i^2 + Y_i^2) + D Y_i$$

Кількість опорних зірок для кола діаметром  $5.25^\circ$  становила близько 150, положення для яких брали з каталога ТУСНО-2. Додаткові похибки  $D X_i$ ,  $D Y_i$  у вигляді суми гармонічних функцій були додані до рівнянь із метою компенсувати періоди рухомих елементів скануючих механізмів вимірювальної машини ПАРСЕК чи сканерів (далі — інструментальні похибки). Хід цих похибок знаходили з нев'язок розв'язання рівнянь для відповідних прямокутних координат. Він наведений на рис. 1 окремо для ПАРСЕК (а,б), сканерів Maker 4 (с,д) та Maker XL9800 (е,ф). Для ПАРСЕК інструментальна похибка виявлена тільки для координати  $Y$  і має вигляд однієї гармоніки з амплітудою  $0.4''$  і періодом 65 мм. Для сканера Microtek

Scan Maker XL9800 інструментальна похибка  $D Y_i$  теж наявна тільки в координаті  $Y$  і може бути представлена сумою двох гармонік з однаковими амплітудами  $1.8''$  і періодами 2000 пкл і 1000 пкл. Сканер Microtek Scan Maker 4 має інструментальні похибки в обох координатах, при цьому для координати  $Y$  похибка  $D Y_i$  складається із суми трьох гармонічних функцій.

На рис. 2 наведені результати редуцції після корекції вимірюваних координат за інструментальні похибки для всіх трьох вимірювальних пристроїв. Для досліджуваного типу сканованих астронегативів (розмір —  $24 \times 24$  см, масштаб —  $86.0''/\text{мм}$ ) середньоквадратичні похибки одного визначення екваторіяльних координат для прямого сходження (координата  $X$ ) для обох сканерів становлять  $0.3''-0.4''$  і за величиною порівняні з астрометричними похибками спеціалізованої вимірювальної машини ПАРСЕК. Для координати  $Y$  (схилення) корекція за інструментальні похибки забезпечує значно гіршу точність: середньоквадратичні похибки одного визначення екваторіяльних координат в 1.5–2.5 рази більші.

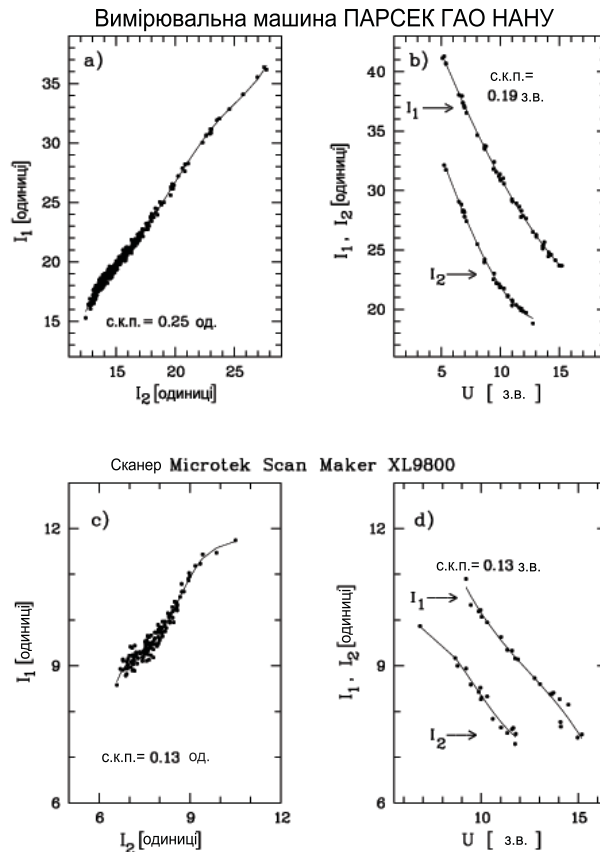


Рис. 3. Зв'язок між інструментальними зоряними величинами для довгої  $I_1$  та короткої  $I_2$  експозицій для ПАРСЕК (а) та Microtek Scan Maker XL9800 (с) — зліва, і вид лінійних частин характеристичних кривих — справа.

### VI. ФОТОМЕТРИЯ ЗІРОК

Нестача або повна відсутність слабких фотоелектричних чи/або CCD стандартів для пологої частини характеристичної кривої для цієї ділянки неба в конкретній фотометричній системі навіть у наш час

стає завадою для визначення точних зоряних величин слабких об'єктів. Тому для платівок із двома експозиціями різної тривалості для визначення зоряних величин об'єктів на всьому інтервалі почорнінь астронегатива використано удосконалений метод відновлення характеристичної кривої, який позбавлений система-

тичних похибок на ділянці недотриманих почорнінь астронегатива [8].

У методі використано декілька зірок із відомими величинами. Зірки займають місце на лінійній частині характеристичної кривої для обох експозицій, різниці яскравостей для цих зірок становить  $1.5\text{--}2^m$ . Для лінеаризації характеристичних кривих використано реальний зв'язок фотометричних величин чи фотометричних відліків між довгою I1 і короткою I2 експозиціями (рис. 3 а,с). Для лінійних ділянок характеристичних кривих середньоквадратична похибка одного визначення зоряної величини для ПАРСЕК (метод ірисової діафрагми) становить  $\pm 0.19^m$  (рис. 3 б). Метод апертурної фотометрії (рис. 3 д) в середньому дає точність на 50 відсотків ліпшу і становить  $\pm 0.13^m$  (сканер Maker XL9800). При побудові характеристичних кривих використано фотоелектричні стандарти, що отримані в межах виконання роботи [9].

## VII. ВИСНОВКИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ

Як можна бачити з графіків (рис. 1,2), періодичність позиційних систематичних похибок сканера є властивістю всіх моделей планшетних сканерів. Ці похибки, які є суперпозицією декількох гармонічних функцій, можна оцінити, але їх урахування не при-

водить до значного поліпшення позиційної точності вздовж осі руху сканувального пристрою. Тому, якщо є завдання визначити положення з максимально можливою точністю, потрібно використовувати методику подвійного сканування з поворотом платівки на  $90^\circ$  і подальшою сумісною обробкою двох сканів послідовним методом, щоб досягнути однакової точності вздовж обох осей на рівні  $0.2\text{--}0.3''$ .

Обробка фотометричних даних у пакеті ROMAFOТ та методика виключення плоского поля за даними самого скану дає змогу навіть для одного скану отримати середню точність зоряних величин для всього інтервалу характеристичної кривої на рівні  $\pm 0.10\text{--}0.20^m$ . Усереднення значень, отриманих з декількох сканів, може поліпшити ці результати, що є предметом подальшого дослідження.

Уже попередні тестові результати сканування платівок архіву астронегативів ГАО НАН України показали, що за допомогою сканера Microtek Scan Maker XL9800 ТМА можна отримати фотометричні результати з точністю на рівні точності фотографічних каталогів, а за умови подальшого вдосконалення методик сканування й обробки сканів можна очікувати її поліпшення. Точність, з якою визначаються положення об'єктів, достатня для ідентифікації цих об'єктів у каталогах даних масових проєктів, якими оперує ВО, що відповідає нашій меті.

- 
- [1] В. С. Кислюк, А. И. Яценко, Г. А. Иванов и др., Кинем. физ. небес. тел **6**, 483 (2000).  
 [2] Т. Р. Sergeeva, V. V. Golovnya, E. M. Yizakevych, L. N. Kizyun, L. K. Pakuliak, S. Shatokhina, M. Tsvetkov, K. Tsvetkova, A. Sergeev, in *Proceeding of International Workshop, Sofia, 2006* (Virtual Observatory, Plate Content Digitization, Archive Mining, Image Sequence Processing, 2006), p. 124.  
 [3] <http://ww.mao.kiev.ua/ardb/>  
 [4] A. Sergeev, T. Sergeeva, *Astron. Astrophys. Trans.* **22**, 413 (2003).  
 [5] В. Н. Андрук, Г. А. Иванов, М. Т. Погорельцев, А. И. Яценко, Кинем. физ. небес. тел **21**, 396 (2005).  
 [6] *MIDAS User Guide. European Southern Observatory – Image Processing Group* (Garching, ESO, 1994).  
 [7] V. M. Andruk, A. P. Vid'machenko, Yu. M. Ivashchenko, *Kinem. Phys. Celest. Bodies* **5**, 544 (2005).  
 [8] В. Н. Андрук, Н. В. Харченко, А. И. Яценко, *Проблемы астрометрии и космической геодинамии* (Наук. думка, Киев, 1991), с. 23.  
 [9] В. Н. Андрук, Кинем. физ. небес. тел **12**, 60 (1996).

## A TRIAL MICROTEK SCAN MAKER APPLICATION FOR STAR PHOTOMETRY

V. Andruk, L. Pakuliak

*Main Astronomical Observatory of NAS of Ukraine  
 27, Zabolotnoho St., Kyiv, UA-03680, Ukraine  
 e-mail: andruk@mao.kiev.ua*

For further progress of the previously created online database of astronegatives with an ultimate aim of its digitization we have conducted a trial scanning of plates with commercial scanner Microtek Scan Maker XL9800 TMA and made its comparison with that of Microtek Scan Maker 4 as well as the measuring complex PARSEK of MAO NAS of Ukraine. Test measurements were made for Schmidt telescope *U*-color plates. Positional and photometric characteristics of objects were obtained by image processing with MIDAS/ROMAFOT software and with TYCHO-2 as reference catalogue. After the elimination of systematic differences the rms errors in positions are  $\pm 0.3''$  in *X* and  $\pm 0.8''$  in *Y* coordinates and in photometry they are  $\pm 0.1^m\text{--}0.2^m$  for the linear parts of color curves. The flat field simulation was made by the application of the method of a large-scale photometric correction of the digitized image.