

УДК 521.95

В. М. Андрук¹, Г. З. Бутенко², А. І. Яценко¹

¹Головна астрономічна обсерваторія НАН України
03680 Київ, вул. Академіка Заболотного 27

E-mail: andruk@mao.kiev.ua

²Міжнародний центр астрономічних та медико-екологічних досліджень НАН України
03680 Київ, вул. Академіка Заболотного 27

e-mail: butenko@mao.kiev.ua

Фотометрія платівок, оцифрованих сканером Microtek ScanMaker 9800XL TMA

Подаються деякі результати фотометрії платівок, оцифрованих сканером Microtek ScanMaker 9800XL TMA, обробку здійснено у пакеті MIDAS/ROMAFOT. Для платівок з двома експозиціями запропоновано і реалізовано метод лінеаризації характеристичної кривої для кожної експозиції окремо. Продемонстровано етапи обробки оцифрованих платівок з автоматичним виключенням фотометричного рівняння поля. Розглянуто питання залежності похибок отриманих координат та зоряних величин від блиску зірок.

ФОТОМЕТРИЯ ПЛАСТИНОК, ОЦИФРОВАННЫХ СКАНЕРОМ MICROTEK SCANMAKER 9800XL TMA, Андрук В. Н., Бутенко Г. З., Яценко А. И. — Представлены некоторые результаты фотометрии пластинок, оцифрованных сканером Microtek ScanMaker 9800XL TMA, обработка осуществлена в пакете MIDAS/ROMAFOT. Для пластинок с двумя экспозициями предложен и реализован метод линеаризации характеристической кривой для каждой экспозиции отдельно. Продемонстрированы этапы обработки оцифрованных пластинок с автоматическим исключением фотометрического уравнения поля. Рассмотрены вопросы зависимости погрешности полученных координат и звездных величин от блеска звезд.

THE PHOTOMETRY OF PLATES DIGITIZED WITH MICROTEK SCANMAKER 9800XL TMA SCANNER, by Andruk V. M., Butenko G. Z., Yatsenko A. I. — Some results of the photometry of plates which were digitized with the Microtek ScanMaker 9800XL TMA scanner are presented. Data processing was performed with MIDAS/ROMAFOT. For plates with two expositions, the method of the characteristic curve linearization, for each exposition individually, was proposed and realized. The steps of the processing of digitized plates with automatic exception of the photometric equation of field are shown. It is considered how the precision of astrometric and photometric measurements of plates depends on the stellar magnitude.

Вступ. Ідея використання планшетних сканерів, обладнаних слайд-модулем для сканування астронегативів, виникла вперше при обговоренні необхідності створення віртуальних обсерваторій та загальнодоступних інтернет-архівів [5, 9]. Такі скани повинні були використовуватись для визначення попередніх значень координат та блиску на астронегативах для розміщення їх в інтернет-архівах обсерваторій. Більш того, за допомогою подібних сканерів досліджувались коливання блиску змінних зір [6], при цьому точність фотометрії досягала $\pm 0.05^m$. Однак точність подібної фотометрії залежить від використаного сканера і вибраного режиму сканування, від якості досліджуваного фотоматеріалу та характеристик телескопа, на якому він експонувався; від точності опорного каталогу і використаної моделі редукції інструментальних зоряних величин. В даній роботі ми зробили спробу оцінити точність фотометрії з використанням сканера Microtek ScanMaker 9800XL ТМА обладнаного слайд-модулем формату А3.

Обробка сканованих платівок в пакеті MIDAS/ROMAFOT. Після обробки просканованої платівки в середовищі MIDAS/ROMAFOT [8] буде отримано таблицю, яка міститиме дані про зареєстровані об'єкти, зокрема прямокутні координати X і Y в системі координат сканера, зоряні величини в інструментальній системі, параметри двовимірного гауссового розподілу інтенсивності зображення зірки — значення інтенсивності в центрі профілю та повну ширину $f_{1/2}$ на половині максимальної інтенсивності ($FWHM$) тощо.

Основні етапи процесу обробки оцифрованої платівки, практично реалізовані у програмному середовищі MIDAS/ROMAFOT, такі.

1. Пошук та мічення перетриманих зображень зір, окремий аналіз та мічення здвоєних зображень перетриманих зір, реставрація всіх перетриманих зображень. Під реставрацією яскравих зір перетриманої частини характеристичної кривої розуміємо розрахунок та фотометричну побудову відсутньої гауссівської (дзвіноподібної) верхівки. Верхівки відтворювались за методикою, яка використовувалась при обробці ПЗЗ-кадрів [2—4].

2. Виключення фотометричної похибки по полю платівки як за внесок вільєтування оптикою телескопа, так і за дію спотворень, що вносить власне сканер. Для цього використовувалась метод знаходження плоского поля самої платівки. Плоске поле платівки знаходилося після попереднього видалення зареєстрованих об'єктів. В ГАО НАН України програмно реалізовано ітераційний метод видалення об'єктів і виділення просторової (як великомасштабної, так і шумової) обвідної власного поля платівки (фону платівки). В подальшому плоске поле платівки використовувалось двічі — для корекції за фотометричну похибку по всьому полю платівки та для орієнтовного знаходження рівня шумів самої платівки. Процедура обчислень з видалення об'єктів і виділення просторової обвідної власного поля платівки займає близько половини часу роботи програми.

3. Пошук та виділення об'єктів (зір, галактик тощо), що перевищують наперед заданий рівень шумів. На практиці робиться фотометричний зріз вище якогось заданого рівня (як правило, це сума відліку середнього значення плоского поля і трьох значень дисперсії шумів фотоємальсії), помічаються ті пікселі, які мають відліки, вищі від заданого рівня. У проекції на площину помічені об'єкти мають форму кругів, еліпсів тощо (дірок). Для повного фотометричного опису об'єктів розміри дірок по радіусу збільшуються на 2-3 пкл. В кінцевому зображенні модифікованого скану платівки будемо мати неспотворені об'єкти, простір між якими заповнено середнім значенням плоского поля (фону неба).

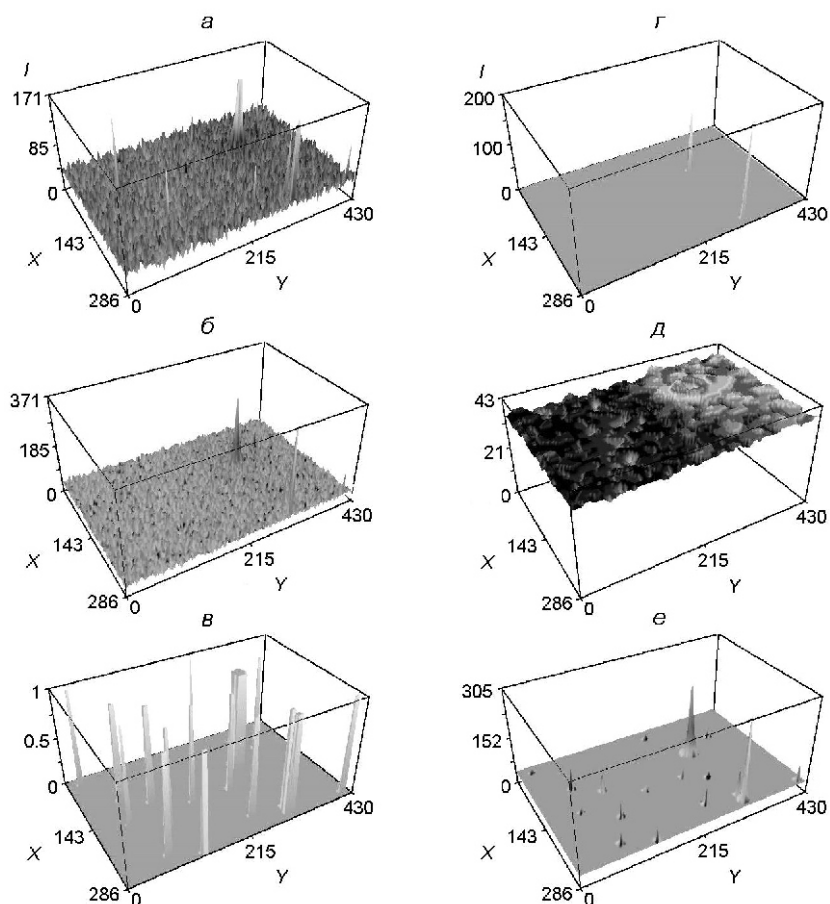


Рис. 1. Ілюстрація обробки в пакеті MIDAS/ROMAFOT ділянки платівки в області галактики М87: *а* — тривимірна проєкція просканованої ділянки, *б* — побудовані вершини для перетриманих зір, *в* — сума двох попередніх проєкцій, *г* — «плоске» поле для цієї ділянки (зорі видалені), *д* — діафрагми об'єктів, *е* — кінцевий вид перед обробкою в ROMAFOT

4. Отримання астрометричних та фотометричних характеристик знайдених об'єктів, від перетриманих аж до найслабших. Для цього підготовлений кадр зображення зоряного поля оброблявся у фотометричному пакеті ROMAFOT з заданими параметрами. У пакеті реалізовано автоматичний режим обробки кадрів. Відмітимо, що в цьому пакеті попередньо були змінені формати реєстрації і обміну даних, зображення великих розмірів (від 2500 2500 пкл до 13000 13000 пкл) оброблялись частинами, а саме з автоматичним розбиттям на смуги відносно осі абсцис. Зони перекриття вздовж координати X складали 50 пкл.

Етапи обробки продемонстровано на рис. 1, де представлено ділянку платівки розміром 206 430 пкл в області галактики М87 (зліва зверху). Платівку № 15652 було експоновано в U -смугі у березні 1987 р. на 1.2-м телескопі системи Шмідта в Балдоне ($\alpha = 24.41$, $\delta = 56.61$) в рамках спостережної частини програми МЕГА [1]. Час експозиції платівки склав 1200 с та 40 с; її розмір 24 24 см, емульсія Zu-21, фільтр — UG1 (1.9 мм).

Характеристичні криві астронегативів з двома експозиціями. Зв'язок між вимірними фотометричними характеристиками зір та реальною шкалою зоряних величин для фотографічної емульсії задається в вигляді характеристичної кривої. На рис. 2, а приведено характеристичні криві для двох експозицій — 1200 с (крива 1) та 40 с (крива 2) для платівки № 15653 (МЕГА 98), що експонована в U -смузі на 1.2-м телескопі системи Шмідта в Балдоне. Коефіцієнт контрастності фотоемульсії для довгої експозиції становить $\gamma = 0.48$. Для побудови характеристичних кривих використано фотоелектричні стандарти, отримані двома різними групами дослідників [1, 7]. Різниця фотометричних величин для лінійних частин характеристичних кривих складає $m = 1.62^m$ для інструментальної системи та $U = 3.40^m$ для шкали фотоелектричних стандартів в U -системі Джонсона. Похибки для довгої експозиції характеристичної кривої в інструментальній системі складають $m = 0.081^m$, в системі фотоелектричних стандартів $U = 0.179^m$. Видно, що характеристична крива для короткої експозиції заповнена до гранично найслабкіших зір ($U_2 = 14^m$), а характеристична крива для довгої експозиції сягає лише $U = 15.5^m$, тоді як межа складає $U_1 = 19.5^m$. Також добре помітно, що обидві криві не є паралельними одна відносно одної, тобто для області слабких та найслабших зір характеристичної кривої довгої експозиції не можна користуватись даними для короткої експозиції. Нелінійність зв'язку навіть для інструментальних фотометричних величин для двох експозицій добре помітна на рис. 2, б. Це крива А, тобто реальний функціональний зв'язок $M = M(m)$. Крива С — зв'язок приведених діаметрів зображень зір для двох експозицій. Тут під приведеними діаметрами зображень зір розуміємо значення функції $f_{1/2}$ повної ширини на рівні половини інтенсивності цен-

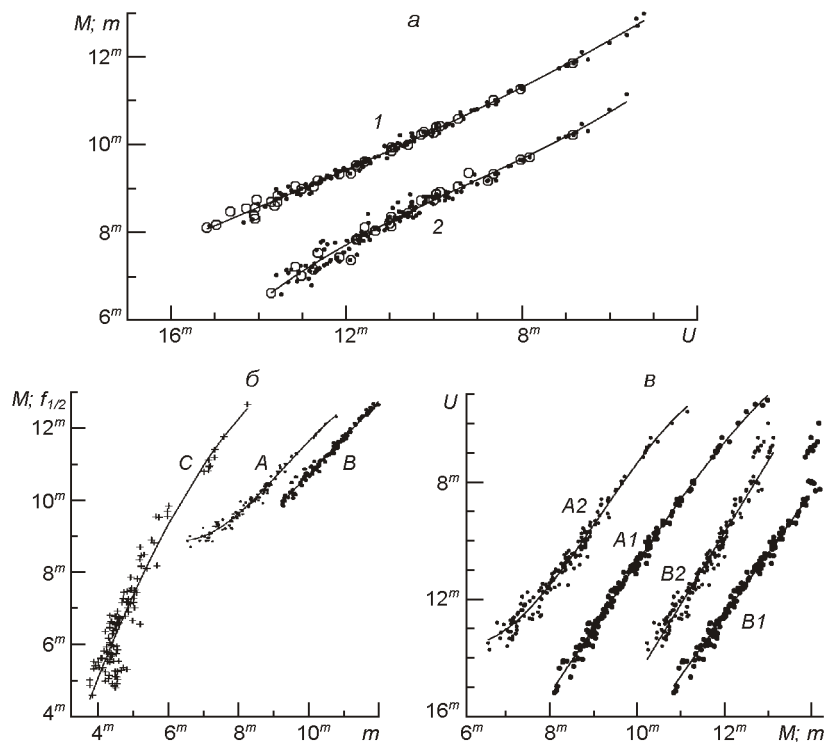


Рис. 2. Характеристичні криві для платівки № 15653, експонованої в U -смузі

трального пікселя. Якщо певним чином утворити комбінацію двох кривих A і C , то будемо мати модифіковану лінію B з кутом нахилу, близьким до 45° . З практичних потреб для отримання зоряних величин в U -системі Джонсона потрібно користуватись залежностями $U = U_1(M)$ та (або) $U = U_2(m)$, що відображено на рис. 2, *в* у вигляді кривих $A1$ та $A2$ для випадку немодифікованих інструментальних фотометричних величин зір. Після процедури модифікації інструментальних значень будемо мати лінійний зв'язок між фотометричною шкалою зоряних величин у системі Джонсона та інструментальною шкалою зоряних величин (лінії $B1$ та $B2$). Відмітимо, що лінії $B1$ та $B2$ спотворені в області яскравих зір, але це не є проблемою, оскільки для цих областей можна скористуватись кривими $A1, A2$.

Фотометрична похибка поля. Фотометрична похибка поля враховується (знаходиться і виключається) на етапі обробки оцифрованого астронегатива. Оскільки оцифрована платівка є фотометричним продуктом трьох приймачів — телескопа, емульсії та ПЗЗ-лінійки сканера, то операція знаходження і корекції за крупномасштабну і дрібномасштабну просторові обвідні поверхні стосується власне корекції за віньетування оптикою телескопа, підсвіток, підвищеної інтенсивності у крилах яскравих об'єктів, нерівномірності чутливості фотоемульсії, і лише частково — процесу реєстрації ПЗЗ-лінійкою. Встановлено, що для врахування впливу останнього фактора потрібно вносити додаткову корекцію, пов'язану з фотометричним рівнем потемніння емульсії. Після необхідних процедур можна отримати координати та зоряні величини. На рис. 3, *а, б* показано отримані розподіли фотометричних різниць між визначеними та каталожними зоряними величинами по полю платівки (вздовж прямокутних координат X, Y), на рис. 3, *в, г* — залежності цих же різниць від зоряної величини U та показника кольору $U - B$.

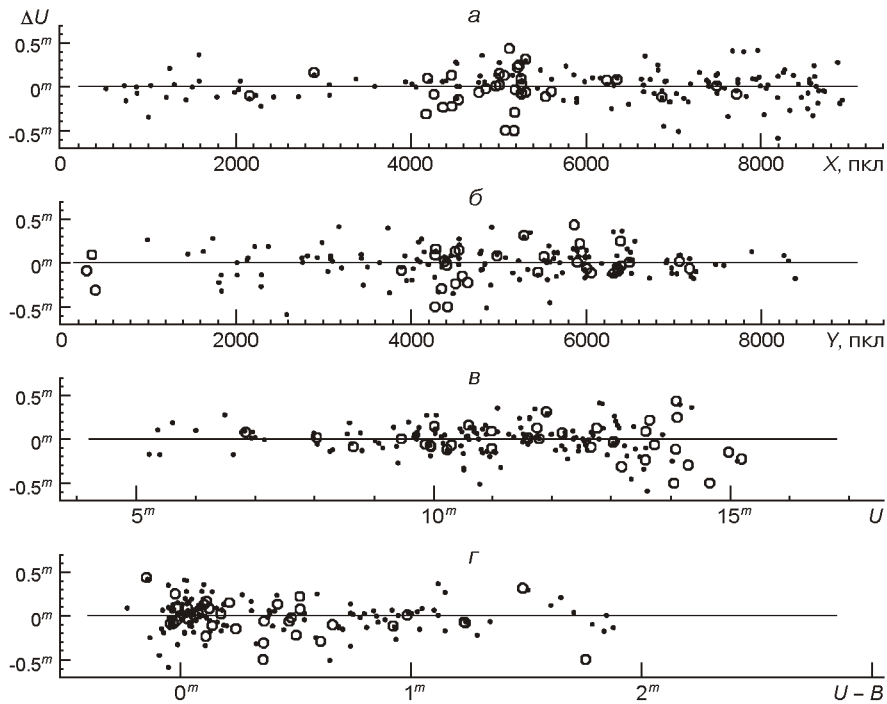


Рис. 3. Розподіл фотометричних різниць U між визначеними та каталожними зоряними величинами вздовж прямокутних координат X, Y по полю платівки (*а, б*) та залежності цих же різниць від зоряної величини U (*в*) і показника кольору $U - B$ (*г*)

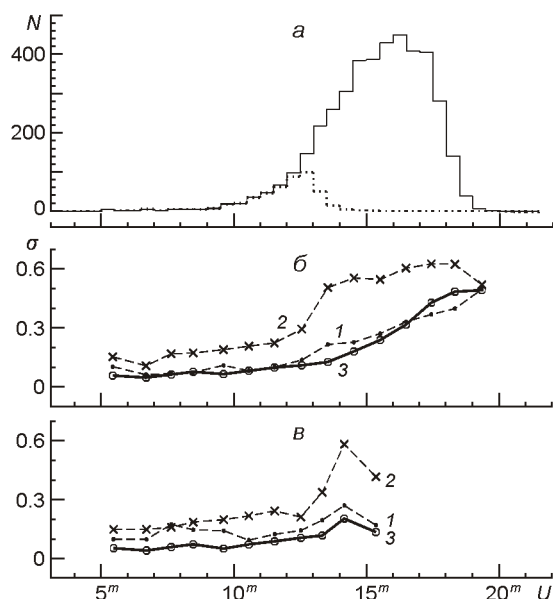


Рис. 4. Гістограма розподілу кількості зір по значеннях зоряних величин U для ділянки неба № 98 програми МЕГА (а); залежність від зоряної величини U середніх квадратичних похибок одного виміру екваторіальних координат (1, 2) та середніх квадратичних похибок зоряних величин (3) для всіх зір (б) та окремо для зір каталогу «Tycho-2» (в)

Точність фотометрії сканованих платівок. На рис. 4, а показано гістограму розподілу кількості зір по значеннях зоряних величин U для ділянки неба № 98 програми МЕГА. Кількість спільних об'єктів на двох платівках сягає 4187 (тонка лінія), кількість зір каталогу «Tycho-2» — 527 (точки). Залежність середніх квадратичних похибок екваторіальних координат від зоряної величини U та середніх квадратичних похибок σ_U зоряних величин для всіх зір і окремо для зір каталогу «Tycho-2» приведено на рис. 4, б і в відповідно.

Висновки. В даній роботі було використано оригінальне програмне забезпечення, яке дозволяє коректно визначати фотометричні та астрометричні характеристики всіх об'єктів (від найяскравіших до гранично слабких) на сканованих платівках. Основним висновком даної роботи є твердження, що за результатами обробки платівок, оцифрованих на планшетному сканері, можна забезпечити точність фотометрії, характерну за точністю для фотографічної астрометрії. Так, похибка одного вимірювання складає 0.1^m для об'єктів, що лежать на лінійній частині характеристичної кривої. Важливим результатом є також використання двох експозицій різної тривалості для ліанеризації характеристичної кривої. Така процедура значно підвищує точність фотометрії в систематичному відношенні для слабких та гранично слабких об'єктів.

Автори щиро вдячні Л. К. Пакуляк за допомогу.

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. Андрюк В. Н., Бутенко Г. З., Видьмаченко А. П., Кулик И. В. Обработка ПЗС-кадров в пакете MIDAS/ROMAFOT // Матер. междунар. конф. «Околоземная астрономия-2007», п. Терскол, Россия, 3—7 сент., 2007 г. — Нальчик, 2008.— С. 295—298.
3. Андрюк В. Н., Иванов Г. А., Погорельцев М. Т., Яценко А. И. Об использовании сканера для определения координат и фотометрии звезд на пластинках программы ФОН // Кинематика и физика небес. тел.—2005.—**21**, № 5.—С. 396—400.
4. Андрюк В., Пакуляк Л. Дослідження можливості використання сканерів MICRO-ТЕК для фотометрії зір // Журн. фіз. досліджень.—2007.—**11**, № 3.—С. 1—5.
5. Сергеев А. В. Измерение астрофотографий: от ИАНИ «ПАРСЕК» к ... «Звездочету» // Тези Міжнар. конф. «Роль наземної астрометрії в Post-HIPPARCOS період», Миколаїв, 9—12 вересня 1996 р. — Миколаїв, 1996.— С. 34—35.
6. Innis J. L., Borisova A. P., Coates D. W., Tsvetkov M. K. Archival light curves from the Bamberg Sky Patrol: CF Octantis, 1964-76 // Mon. Notic. Roy. Astron. Soc.—2004.—**355**, N 2.—P. 591—600.
7. Mermilliod J. C. Homogeneous means in the *UBV* system. — Institut d'Astronomie, Universite de Lausanne, 1991.
8. MIDAS User Guide. European Southern Observatory — Image Processing Group. — Garching, ESO, 1994.—Vol. A, B, C.
9. Tsvetkov M. K., Stavrev K. Y., Tsvetkova K. P., et al. The wide-field plate database: New development and applications // Newslett. IAU working group “Sky Surveys”.—1998.—**10**.—P. 10—16.

Надійшла до редакції 26.03.09