

# ASTROMETRY AND PHOTOMETRY WITH PLATE SCANS FROM STERNBERG ASTRONOMICAL INSTITUTE'S PHOTOGRAPH COLLECTION (FIRST EXPERIENCES) АСТРОМЕТРИЯ И ФОТОМЕТРИЯ ЗВЕЗД ПО СКАНАМ ПЛАСТИНОК ФОТОТЕКИ ГАИШ (ПЕРВЫЕ ОПЫТЫ)

A.V. Mironov<sup>1</sup>, F.N. Nikolaev<sup>1</sup>, A.S. Tuchin<sup>1</sup>, A.I. Zakharov<sup>1</sup>, K.F. Levkova<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Sternberg State Astronomical Institute, Moscow State Lomonosov University  
Leninskije gory, Moscow 119992 Russia, *almir@sai.msu.ru*

<sup>2</sup> Physical Department, Moscow State Lomonosov University  
Leninskije gory, Moscow 119992 Russia

**ABSTRACT.** A scanning of plates from Sternberg astronomical institute's photograph collection has began to create a library of digital images. A large number of new variable stars has already discovered using the scans. It is shown that it is possible to carry out an astrometry with an error about a half of a pixel and a photometry with an error about 0,15 mag.

В ГАИШ МГУ начато сканирование пластинок фототеки с целью составления библиотеки их цифровых образов. По полученным сканам уже открыто значительное количество новых переменных звезд. Показано, что по сканам пластинок можно проводить астрометрию с точностью до половины пиксела и фотометрию со стандартной ошибкой около  $0^m,15$ .

**Key words:** Astronomical photography: scanning, astrometry, photometry.

В различных обсерваториях мира хранится большое количество фотографических снимков неба, полученных на разных телескопах. Самой богатой коллекцией обладает Обсерватория Гарвардского колледжа (США); в ней содержится около 500 тысяч фотопластинок. ГАИШ МГУ обладает фототекой объемом около 60 тысяч негативов; из них около 22,3 тысяч получены на 40-сантиметровом астрографе, стоящем в настоящее время на Крымской станции ГАИШ.

На фотопластинках содержится огромное количество ценнейшей астрономической информации. Для облегчения доступа к этой информации во многих астрономических учреждениях мира проводятся работы по созданию цифровых образов фотопласти-

нок. С этой целью пластинки сканируются с помощью цифровых сканеров разных систем.

Большинство коммерческих сканеров мало пригодно для оцифровки астрономических фотопластинок. Их основными недостатками являются недостаточное разрешение, недостаточный размер поля и недостаточная производительность. К такому выводу пришли специалисты из Гарвардской обсерватории, которые провели сравнительное исследование нескольких типов коммерческих сканеров. Одними из лучших были признаны сканеры фирмы CREO, но и они имеют низкую производительность. Поэтому в Гарварде был разработан и создан специальный сканер (Mink, Doane, Simcoe et al., 2006).

Для сканирования пластинок фототеки ГАИШ были приобретены и установлены два сканера типа CREO EverSmart Supreme II. Эти приборы имеют разрешающую способность до 2540 dpi и позволяют сканировать пластинки формата А3. Сканирование производится путем синхронного перемещения осветителя и ПЗС-линейки с размером пиксела 10 мкм. На выходе организуется файл в формате tiff, разрядность отсчета для каждого пиксела – 16. Приборы позволяют получать сканы высокого качества. В недостаткам следует отнести недостаточную производительность: сканирование фотопластинки размером 24 x 30 см с наивысшим разрешением занимает около одного часа. Кроме того, необходимо отключать сложную систему обработки изображений, установленную по умолчанию и нет простой возможности модифицировать программное обеспечение.

В настоящее время данные, полученные в результате сканирования, сначала переводятся из форма-

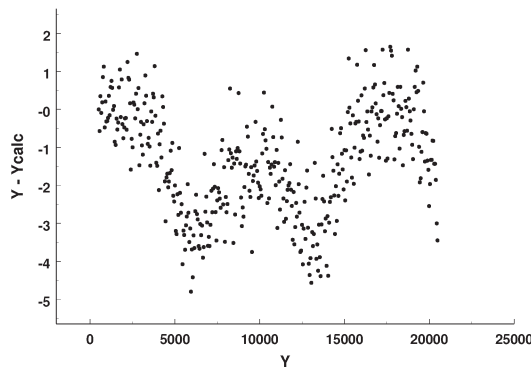


Рис. 1: Систематическая ошибка определения координат вдоль направления сканирования. Низкочастотная составляющая.

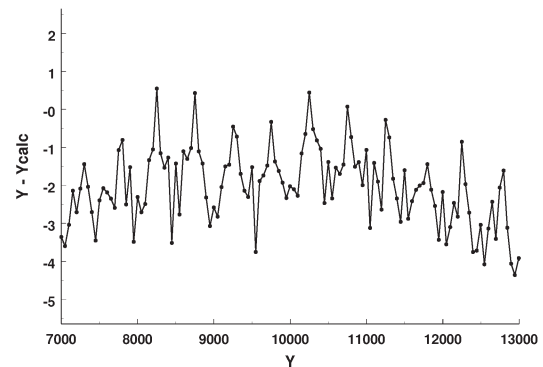


Рис. 2: Систематическая ошибка определения координат вдоль направления сканирования. Высокочастотная составляющая.

та tiff в формат fits, а затем этот файл обрабатывается с помощью программы SExtractor (Source-Extractor), созданной в Парижском институте астрофизики и Парижской обсерватории (Bertin and Arnouts 1996). Программа обнаруживает объекты в кадре, выдает их прямоугольные координаты и делает оценку звездной величины (с произвольным нуль-пунктом). Первым результатом явилось открытие и исследование значительного количества новых переменных звезд. Эти результаты опубликованы в нескольких статьях в электронном журнале "Переменные звезды" (Manannikov, Sokolovsky, Samus et al. 2006; Kolesnikova, Sokolovsky, Samus, 2007; Sokolovsky, 2006).

Нами было проведено исследование астрометрических и фотометрических свойств сканов. Для проверки астрометрических качеств мы использовали точную стеклянную палетку, на которой была нарезана прямоугольная сетка с равномерным шагом 0,5 мм. Анализ показал, что выданные программой SExtractor координаты линий сетки систематически отличаются равномерных, причем ошибки имеют периодический характер. Это показано на рис. 1, который относится к направлению вдоль сканирования. На рисунке 1 видно, что разности между измеренными положениями линий палетки и положениями линий равномерной сетки изменяются, показывая волнообразный ход. К сожалению нуль-пункты и фазы периодических зависимостей зависят от предыдущего положения каретки сканера и не повторяется от одного акта сканирования к другому. Аналогичные систематические ошибки были выявлены и на перпендикулярном направлении. Более подробное рассмотрение кривой на рис.1. показало, что, кроме волнообразных изменений с пространственным периодом около 8000 пикселей, су-

ществуют еще и вариации с более высокой частотой. Это показано на рис.2. Период высокочастотных вариаций около 500 пикселей. Высокочастотная составляющая присутствует только на направлении сканирования. Мы пришли к выводу, что эти ошибки связаны с неравномерностями движения каретки во время сканирования и аналогичны периодической ошибке винта классических микрометров. Если на пластинке имеется достаточно много опорных звезд с известными координатами, то по ним можно вначале определить систематические ошибки, а затем определить координаты исследуемых звезд. При этом среднеквадратичная ошибка определения координат не превышает 0.5 пикселя. На снимках 40-сантиметрового астрографа это соответствует 0.35 угловой секунды.

На пластинках 40-сантиметрового астрографа, отснятых с выдержкой в один час, на пределе зарегистрированы звезды 17,5 величины. Звезды, более яркие, чем 14 величина при такой экспозиции оказываются передержанными. Звезды 8 величины имеют диаметр около 1 мм, а 11 величины – примерно 0,5 мм. Тем не менее, опыт определения звездных величин, проводимых как методом глазомерных оценок, так и путем измерений на ирисовом фотометре, показал, что возможно адекватно оценивать величины звезд в интервале от 6-7 величины до самого предела пластинки. При использовании программы Существенным для нас недостатком программы SExtractor мы столкнулись с тем, что она рассчитана на работу с небольшими по размеру изображениями звезд на пластинках шмидтовских телескопов.

Изображения ярких звезд, имеющих большой линейный размер интерпретируются SExtractor'ом неправильно. Для всех ярких звезд программа вы-

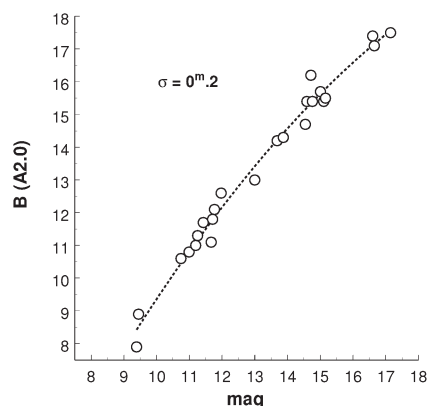


Рис. 3: Сравнение звездных величин, измеренных по одной из пластинок 40-сантиметрового астрографа с величинами  $B$  из каталога USNO-A2.

дает примерно одну и ту же звездную величину. Это ограничило применение звездных величин, выдаваемых программой SExtractor интервалом между  $14^m$  и  $16^m,5$ . Заметим, что работы по поиску и исследованию переменных звезд производятся именно в этом интервале.

Чтобы иметь возможность оценивать величины более ярких звезд была применена следующая методика. Распределение почернений в пикселах, создающих изображение звезды аппроксимировалось модельной функцией вида

$$D(R) = d + a \cdot \exp \{-b_1 R - b_2 R^2\}, \quad (1)$$

где  $R = \sqrt{(x - x_0)^2 + (y - y_0)^2}$  – расстояние текущего пиксела от центра изображения звезды,  $D$  – почернение в пикселе;  $d$  – уровень фона;  $a$  – почернение в центре изображения звезды;  $b_1, b_2$  – параметры;  $x_0, y_0$  – координаты центра изображения звезды.

Из скана выделялась прямоугольная область, целиком содержащая изображение звезды, и по ним определялись параметры  $d, a, b_1, b_2, x_0$  и  $y_0$ . Для этого проводилось решение системы уравнений вида (1) нелинейным методом наименьших квадратов по алгоритму Marquardt-Levenberg [5]. Алгоритм реализован в графо-вычислительном пакете AXUM. После нахождения параметров вычислялась звездная величина как

$$\text{mag} = -2,5 \log \int_0^{R_{max}} 2\pi R [D(r) - d] dR + \text{const.} \quad (2)$$

Для передержанных изображений использовались только пиксела, находящиеся в крыльях, вне передержанного ядра. На рис. 3 показано сравнение звездных величин, найденных по описанной методике с величинами  $B$  из каталога USNO-A2.

Из рисунка следует, что по сканам пластинок 40-сантиметрового астрографа можно производить фотометрию в полосе, близкой к  $B$  со среднеквадратичной ошибкой звездной величины около  $0.15 \text{ mag}$ .

Дальнейшее совершенствование методик должно привести к повышению астрометрической и фотометрической точности.

*Благодарности.* Авторы искренне благодарят Н.Н. Самуся и С.А. Антипина за постоянный интерес к работе и полезные замечания; К.В. Соколовского за консультации по использованию программы SExtractor; Л.А.Сат за получение сканов использованных нами фотопластинок.

### Литература

- Mink D., Doane A., Simcoe R., Los E., Grindlay J.: 2006, *VIRTUAL OBSERVATORY: plate content digitization, archive mining, and image sequence proceeding*. Proceedings of the International Workshop. Sofia. Bulgaria. April 27-30 2005. Edited by M.Tsvetkov, V.Golev, M.Murtagh, and R.Molina. Heron Press Science Series, pp.54-60.
- Marquardt, D.W.: 1963, *Journal of the Society for Industrial and Applied Mathematics*, **2**, pp.431-441.
- Bertin E., Arnouts S.: 1996, *Astronomy and Astrophysics Supplement*, **117**, pp.393-404.
- Manannikov A.L., Sokolovsky K.V., Samus N.N., Antipin S.V. : 2006, *Peremennye Zvezdy, Suppl.*, **6**, N 34 (22.12.2006)
- Kolesnikova D., Sokolovsky K.V., Samus N.N., Antipin S.V. : 2007, *Peremennye Zvezdy, Suppl.*, **7**, N 3 (5.02.2007)
- Sokolovsky K.V. : 2006, *Peremennye Zvezdy, Suppl.*, **6**, N 18 (30.06.2006)