

**Таблиця 2.** Результати порівняння спостережень ВМП з JPL-ефемеридою.

ВМП Planet	К-сть №	Середні О-С Mean residual		Сер.-квадр. відхилення Rms about mean		Похибка середнього Standard error of mean	
		По а,сек	По d,″	По а,сек	По d,″	По а,сек	По d,″
1	101	-0.005	-0.09	0.028	0.32	0.003	0.03
2	119	-0.016	-0.05	0.028	0.36	0.003	0.03
3	171	-0.004	-0.17	0.024	0.37	0.002	0.03
4	45	-0.020	-0.18	0.025	0.28	0.004	0.04
6	174	-0.001	-0.10	0.026	0.33	0.002	0.03
7	138	0.005	-0.16	0.028	0.29	0.002	0.02
11	71	-0.008	0.01	0.028	0.36	0.003	0.04
18	94	0.009	-0.16	0.028	0.36	0.003	0.04
25	49	-0.004	-0.11	0.042	0.31	0.006	0.04
39	157	0.002	-0.09	0.041	0.36	0.003	0.03
40	114	0.002	-0.13	0.024	0.31	0.002	0.03
148	122	-0.025	-0.09	0.032	0.42	0.003	0.04
389	68	-0.016	-0.22	0.021	0.43	0.003	0.05
480	42	-0.011	-0.14	0.030	0.35	0.005	0.05
532	73	-0.029	-0.10	0.025	0.34	0.003	0.04
568	32	-0.049	-0.13	0.028	0.49	0.005	0.09
582	24	-0.013	-0.02	0.031	0.38	0.006	0.08
704	57	-0.021	-0.27	0.029	0.32	0.004	0.04

## RESULTS OF THE FIRST OBSERVATIONS OF SELECTED MINOR PLANETS AT NIKOLAEV CCD ZONE ASTROGRAPH

*A.V. Ivantsov<sup>1</sup>, A.N. Kovalchuk<sup>1</sup>, Zh.A. Pozhalova<sup>1</sup>, V.N. Pyshnenko<sup>1</sup>, N.K. Sumzina<sup>2</sup>, Yu.A. Chernetenko<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>Nikolaev astronomical observatory, Nikolaev, Ukraine, [anatoly@mao.nikolaev.ua](mailto:anatoly@mao.nikolaev.ua)

<sup>2</sup>Institute of Applied Astronomy RAS, S-Petersburg, Russia, [cya@quasar.ipa.nw.ru](mailto:cya@quasar.ipa.nw.ru)

Parameters of Nikolaev Zone Astrograph equipped with CCD camera of our own production are cited. Regular observations of selected minor planets in stare mode are provided under co-ordinate programme with Institute of Applied Astronomy of RAS and Observatory in Bordeaux from 2000. More than 1100 individual frames of 19 minor planets have been obtained by now. Observational and processing technique applied to the frames is described. Preliminary processing up to (O-C) for 6 minor planets in the system of USNO-A2.0 catalogue with the estimations of internal and external accuracies was obtained. It is necessary to make a reduction at dense and precise catalogue in the ICRF system and also to improve the technique of reduction.

РЕЗУЛЬТАТИ ПЕРШИХ СПОСТЕРЕЖЕНЬ ВИБРАНИХ АСТЕРОЇДІВ НА МИКОЛАЇВСЬКОМУ ПЗЗ-ЗОНОМУ АСТРОГРАФІ, А.В. Іванцов, О.М. Ковальчук, Ж.А. Пожалава, В.М. Пишненко, Н.К. Сумзіна, Ю.А. Чернетенко - Наводяться

характеристики Миколаївського зонного астрографа, оснащеного ПЗС-камерою власного виробництва. На ньому з 2000 року проводяться регулярні спостереження в кадровому режимі обраних астероїдів по координованій програмі з Інститутом прикладної астрономії РАН і обсерваторією в Бордо. На теперішній час отримано понад 1100 окремих кадрів, що містять зображення 19 астероїдів. Описано методику спостережень і обробки отриманих ПЗС-кадрів. Виконано попередню обробку матеріалу до одержання (О-С) для 6 астероїдів у системі каталогу USNO-A2.0, а також отримані оцінки внутрішньої й зовнішньої точності. Зроблено висновок про необхідність проведення обробки з використанням опорного каталогу більш високої точності й щільності в системі ICRF, а також удосконалювання методів редукції.

РЕЗУЛЬТАТЫ ПЕРВЫХ НАБЛЮДЕНИЙ ИЗБРАННЫХ АСТЕРОИДОВ НА НИКОЛАЕВСКОМ ПЗС-ЗОННОМ АСТРОГРАФЕ, А.В. Иванцов, А.Н. Ковальчук, Ж.А. Пожалова, В.Н. Пышненко, Н.К. Сумзина, Ю.А. Чернетенко. Приводятся характеристики Николаевского зонного астрографа, оснащенного ПЗС-камерой собственного производства. На нем с 2000 года проводятся регулярные наблюдения в кадровом режиме избранных астероидов по координированной программе с Институтом прикладной астрономии РАН и обсерваторией в Бордо. К настоящему времени получено свыше 1100 отдельных кадров, содержащих изображения 19 астероидов. Описана методика наблюдений и обработки полученных ПЗС-кадров. Выполнена предварительная обработка материала до получения (О-С) для 6 астероидов в системе каталога USNO-A2.0, а также получены оценки внутренней и внешней точности. Сделан вывод о необходимости проведения обработки с использованием опорного каталога более высокой точности и плотности в системе ICRF, а также совершенствования методов редукции.

### 1. Описание ПЗС-зонного астрографа

В 1999 году Николаевский зонный астрограф ( $D=160$  мм с апертурной диафрагмой 120 мм,  $F=2046$  мм) был оснащен универсальной ПЗС-камерой собственного производства (рабочее поле системы  $28' \times 32'$ , масштаб  $1''.61/\text{pixel}$ ). Камера может работать как в кадровом режиме со временем экспозиции от 1 мс и более, так и в режиме синхронного переноса заряда [1]. Проницающая способность до 16 звездной величины. В приведенной ниже таблице 1 представлены некоторые характеристики используемой ПЗС-матрицы производства ГУП “Электроник-Оптроник” (С-Петербург).

**Таблица 1.** Некоторые характеристики используемой ПЗС-матрицы

Тип матрицы	ISD017P
Число элементов ( $H \times V$ )	1040 $\times$ 1160
Размер пикселя (мкм)	16 $\times$ 16
Фоточувствительная площадь (мм)	16.6 $\times$ 18.6
Темновой сигнал при $-40^\circ\text{C}$ (эл./яч./с)	4
Неоднородность чувствительности (%)	3

Привязка всех используемых наблюдательных программ к шкале времени осуществляется с помощью кварцевого синхронметра Ч7-37 службы времени НАО с погрешностью не более 0.5 мс.

## 2. Программы и методика наблюдений

В соответствии с программой, координированной с Институтом прикладной астрономии РАН и французской обсерваторией в Бордо, в 2000 году начались регулярные наблюдения в кадровом режиме избранных астероидов [2]. Наблюдения предназначаются для улучшения орбит малых планет и уточнения масс астероидов. Используемая методика наблюдений состоит в определении одного положения малой планеты из серии последовательных равноотстоящих по времени дифференциальных наблюдений (кадров). Продолжительность экспозиции одного кадра в основном составляла около 3 минут. К настоящему времени получено свыше 1100 отдельных кадров, содержащих изображения 19 астероидов.

## 3. Методика обработки наблюдений

Каждое положение вычислено путем усреднения экваториальных координат по серии из 5-9 кадров при предположении о линейном изменении сферических координат в зависимости от времени в течение всей серии наблюдений. Экваториальные координаты получались из дифференциальной редукции по каждому кадру с использованием одной и той же системы опорных звезд.

Для оценки возможностей пакета “Астрометрика” версии 3.25 [5] все измерения “прямоугольных” координат и астрометрическая редукция были проведены с помощью этого пакета. Выбор опорных звезд старались осуществлять согласно достаточно известным рекомендациям [2], хотя не всегда была соответствующая возможность их соблюдения. Достаточно устойчивым как к субъективному фактору, так и к влиянию неоднородностей окружающего фона, способом определения “прямоугольных” координат оказался “кометный” способ, алгоритм которого изложен в руководстве к пакету.

Такая методика наблюдений и обработки позволяет уменьшить эффекты движения инструмента, качества изображения. За оценку внутренней точности определения положения планеты мы приняли диапазон изменений выборки

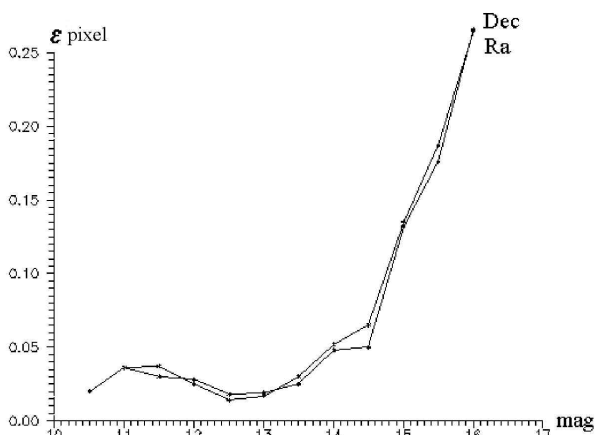


Рис. 1. Эмпирическая зависимость среднеквадратической ошибки положения звезды от звездной величины.

среднеквадратических отклонений (О-С) планет. В нашем случае получен интервал значений  $0.''03 \div 0.''15$ .

Для изучения точности определения координат звездообразных объектов была получена серия из 10 кадров около ERS J220243.2+421639, продолжительность каждого составляла 10 минут. Используя взаимные расстояния между одноименными звездами в пределах серии в качестве случайной величины, была получена зависимость среднеквадратической ошибки положения звезды как характеристики разброса отдельных измерений в течение серии кадров относительно “среднего” положения за всю серию внутри ночи. Эта зависимость определяется в совокупности качеством изображения, стабильностью электронной части камеры и др. факторами. На Рисунке 1 приведены графики эмпирических зависимостей ошибки по прямому восхождению и склонению в пикселях (камера ориентирована достаточно точно относительно указанных координат методом дрейфового сканирования). Для построения графиков были использованы измерения 151 звезды.

#### 4. Результаты предварительной обработки

Выполнена предварительная обработка рядов наблюдений, полученных в мае-июле 2000 года, до получения (О-С) в системе каталога USNO-A2.0. (Каталог содержит звезды разных эпох без собственных движений, что влияет на точность получаемых положений). Эфемеридные положения малых планет вычислялись с помощью пакета “Церера” версии 2.34 с использованием элементов орбит на эпоху 18.0 ТТ октября 2000 года. Разности (О-С) в угловых секундах были получены для 6 астероидов (№№ 1, 4, 11, 17, 39, 40), средние значения которых, а также их среднеквадратические ошибки и выборочные значения среднеквадратических ошибок вместе со средними зенитными расстояниями, на которых проводились наблюдения, представлены в приведенной ниже Таблице 2.

**Таблица 2.** Оценки (О-С), вычисленные с помощью пакета “Церера”

Астероид	$\langle(O-C)_{\alpha}\cos\delta\rangle$	$\langle(O-C)_{\delta}\rangle$	$\sigma_{\alpha}\cos\delta$	$\sigma_{\delta}$	Число положений	$\langle z \rangle$
Ceres (1)	$+0.65 \pm 0.15$	$+0.54 \pm 0.10$	0.52	0.35	12	$37^{\circ}$
Vesta (4)	$-0.27 \pm 0.18$	$-1.36 \pm 0.21$	0.45	0.52	6	$68^{\circ}$
Parthenope (11)	$-0.14 \pm 0.07$	$+0.04 \pm 0.13$	0.28	0.50	15	$65^{\circ}$
Thetis (17)	$+0.49 \pm 0.08$	$+0.18 \pm 0.12$	0.34	0.49	17	$61^{\circ}$
Laetitia (39)	$+0.15 \pm 0.10$	$+0.08 \pm 0.12$	0.39	0.43	13	$55^{\circ}$
Harmonia (40)	$-0.04 \pm 0.06$	$-0.23 \pm 0.18$	0.17	0.53	9	$70^{\circ}$

· Взвешенная по числу положений ошибка одного нормального суточного места, найденная по 72 положениям, составила  $0.''34$  по прямому восхождению и  $0.''44$  по склонению.

· Данные, приведенные в Таблице 2, не позволяет вынести определенного вывода относительно зависимости ошибки от зенитного расстояния. Точки,

соответствующие этим данным, расположены неравномерно в зависимости от зенитного расстояния и отягощены ошибками наблюдений.

· Налицо значительные средние (О-С) для планет (1) и (4). Этот факт может быть следствием грубых ошибок отдельных наблюдений.

Результаты наблюдений, согласно договору о научном сотрудничестве, были переданы в Институт прикладной астрономии РАН, где они были включены в процедуру уточнения элементов орбит. На примере малой планеты (17) Thetis показаны результаты, полученные в результате интегрирования уравнений движения, получения (О-С) и исправлением исходной системы элементов с использованием поступающих в базу данных ИПА наблюдений.

В Таблице 3 приведены (О-С) этой планеты для двух вариантов просчета. Вариант I получен в результате использования только 17 Николаевских наблюдений. Вариант II получен по 346 наблюдениям 27 обсерваторий (в том числе, и Николаевских наблюдений), выполненных в течение 1980.03.13-2000.08.31. Второй вариант демонстрирует наличие заметных систематических ошибок в наблюдениях на модернизированном зонном астрографе НАО, причину появления которых еще предстоит выяснить, тогда как представление наблюдений орбитой I не демонстрирует никаких систематических ошибок, что естественно при небольшой дуге наблюдений и одних и тех же систематических ошибках, присущих всем наблюдениям.

**Таблица 3.** (О-С) малой планеты Thetis (17)

№	Моменты положений, ТТ	Вариант I		Вариант II	
		(О-С) $_{\alpha}$	(О-С) $_{\delta}$	(О-С) $_{\alpha}$	(О-С) $_{\delta}$
1.	2000 May 3.94820	0".38	0".39	-0".22	-0".41
2.	2000 May 4.94663	0".17	-0".19	-0".40	(-0".96)
3.	2000 May 5.95095	0".18	0".20	-0".35	-0".56
4.	2000 May 8.93359	-0".37	-0".43	(-0".80)	(-1".13)
5.	2000 May 10.93435	-0".45	-0".40	(-0".83)	(-1".07)
6.	2000 June 5.89195	0".10	-0".15	-0".09	-0".36
7.	2000 June 6.89751	-0".26	-0".35	-0".47	-0".54
8.	2000 June 8.89890	0".17	0".60	-0".06	0".44
9.	2000 June 11.89651	-0".34	0".78	-0".61	0".66
10.	2000 June 12.87119	0".26	0".19	-0".02	0".08
11.	2000 June 23.87003	0".33	-0".19	-0".07	-0".23
12.	2000 June 24.90293	-0".01	0".01	-0".42	-0".02
13.	2000 June 28.89674	-0".16	-0".39	-0".58	-0".42
14.	2000 July 4.87828	0".13	0".00	-0".28	-0".05
15.	2000 July 17.81899	0".06	0".10	-0".08	-0".10
16.	2000 July 18.81632	-0".05	-0".29	-0".17	-0".49
17.	2000 July 20.81629	-0".15	0".04	-0".19	-0".20

Подобное поведение (O-C) характерно для всех представленных нами наблюдений: на основе использования только данных НАО нет возможности с помощью критерия трех сигм отождествить выбросы при предположении о нормальной функции распределения разностей.

В Таблице 4 приведены среднеквадратические отклонения (O-C), вычисленные относительно орбит, определенных только по нашим наблюдениям (Вариант I), и орбит, полученных с использованием наблюдений из каталога малых планет ИПА РАН (Вариант II). В таблицу не включены наблюдения, которые были рассмотрены как аномальные в общем списке наблюдений; по тем же причинам не включена Vesta (4).

**Таблица 4.** Среднеквадратические значения (O-C)

Астероид	Число положений	Только наши наблюдения		Все собранные наблюдения	
		$\langle(O-C)_\alpha^2\rangle$	$\langle(O-C)_\delta^2\rangle$	$\langle(O-C)_\alpha^2\rangle$	$\langle(O-C)_\delta^2\rangle$
Ceres (1)	11	0".71	0".65	0".62	0".65
Parthenope (11)	15	0".29	0".40	0".38	0".49
Thetis (17)	14	0".21	0".34	0".32	0".38
Laetitia (39)	13	0".30	0".38	0".39	0".41
Harmonia (40)	9	0".42	0".54	0".56	0".53

Сравнительный анализ всех каталогизированных за последние 20 лет наблюдений указанных малых планет и наблюдений, выполненных на Николаевском ПЗС-зонном астрографе, показал, что 94% наблюдений, приведенных в Таблице 2, имеют удовлетворительную точность и могут быть приняты для улучшения текущих орбит. Однако для достижения лучшей в настоящее время точности положений малых планет в 0."06 [6], необходимо проведение значительной работы.

## 5. Заключение

Настоящая программа ПЗС-наблюдений является логичным продолжением многолетних фотографических наблюдений, выполнявшихся на зонном астрографе до его модернизации.

Полученные результаты демонстрируют достаточно хорошую внутреннюю точность наблюдений, которые могут быть использованы для уточнения орбит.

В то же время следует отметить, что наблюдения указанных малых планет проводились на больших зенитных расстояниях, где точность уже определяется преимущественно качеством изображения и полнотой учета рефракции [5, 6].

Актуальными способами улучшения точности определения координат дифференциальным методом с использованием ПЗС-камеры в данном случае являются улучшение методики получения «прямоугольных» координат

с учетом условий наблюдений и характеристик наблюдаемого объекта и использование более точных опорных каталогов, например, Tucho-2 или UCAC при редукции.

Наблюдения и их обработка по указанной в п.2 программе продолжаются.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Ковальчук А.Н., 1999, Кинематика и физика небесных тел, Приложение № 1, 97

2. Курс астрофизики и звездной астрономии / Под ред. Михайлова А.А., 1973, т. 1

3. Ivantsov A., Kovalchuk A., Martynov M., Pinigin G., Pishnenko V., Pozhalova Zh., Shulga A., Chernetenko Yu., Shor V., Rapaport M., Viateau B., 2000, Kinematics and Physics of Celestial Bodies, Suppl. Ser., N3

4. Raab, H., <http://www.astrometrica.at>

5. Stone, R. C., Monet, D. G., Monet, A. K. B., Walker, R. L., Ables, H. D., Bird, A. R., & Harris, F. H. 1996, AJ, 111, 1721.

6. Stone, R. C. 2000, AJ, 120, 2708

\* \* \*

## INFLUENCE OF SCATTERING LAW ON THE ASTEROID PHOTOCENTRE POSITION

*D.F. Lupishko<sup>1</sup>, V.G. Shevchenko<sup>1</sup>, N. Tungalag<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> Astronomical Observatory of Kharkiv National University, Kharkiv, Ukraine, [lupishko@astron.kharkov.ua](mailto:lupishko@astron.kharkov.ua)

<sup>2</sup> Research Institute of Geophysics and Astronomy of Academy of Sciences, Mongolia

The numerical modelling of brightness distribution over the asteroid disk for different scattering laws was carried out to determine the asteroid photocentre position. The photometric model of an asteroid which provides the arbitrary asteroid shape, albedo distribution on the surface and scattering law was used. It is shown that the displacement of photocentre relatively geometrical centre of the model depends essentially on the asteroid shape, phase angle and scattering law. Its value can reach 0.3–0.4 of asteroid angular radius. For the main-belt asteroids with angular sizes  $>0.^{\circ}1$  the displacements can reach  $0.^{\circ}02$  and even more (up to  $0.^{\circ}06$ – $0.^{\circ}10$  for the largest asteroids). For the NEAs similar values can be caused due to their large phase angles. Such values can exceed the accuracy of space-based astrometric measurements and of the modern ground-based ones. Therefore, taking them into account one can noticeably improve the accuracy of asteroid position determinations.

ВПЛИВ ЗАКОНУ РОЗСІЮВАННЯ НА ПОЛОЖЕННЯ ФОТОЦЕНТРУ АСТЕРОЇДА, Д.Ф. Лупішко, В.Г. Шевченко, N. Tungalag – Виконано числове моделювання розподілу яскравості по диску астероїда для різних законів розсіювання з метою визначення фотоцентру астероїда. Використовувалась фотометрична модель астероїда довільної форми, розподілу альbedo по поверхні і закон розсіювання. По-