

## НЕКОТОРЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ПЗС-НАБЛЮДЕНИЙ МАЛЫХ ТЕЛ СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЫ НА НОРМАЛЬНОМ АСТРОГРАФЕ ПУЛКОВСКОЙ ОБСЕРВАТОРИИ В 2005-2006 ГГ. И ПЛАНИРУЕМЫЕ НАБЛЮДЕНИЯ.

Е.В Хруцкая, М.Ю. Ховричев, А.А. Бережной.

Главная (Пулковская) астрономическая обсерватория РАН, Россия, orion@gao.spb.ru

Приводятся первые результаты ПЗС-наблюдений, полученных на нормальном астрографе Пулковской обсерватории. Объектами наблюдений стали кометы Мачхолца, Поймански и Швассман-Вахман (73P, фрагменты В и С), а также 37 малых планет от 9.0 до 16.5 звездной величины. Полученная точность ПЗС-наблюдений (30 – 50 mas) существенно превысила точность фотографических наблюдений, проводимых ранее на этом же инструменте, и позволила значительно расширить наблюдательную программу. В новую программу наблюдений помимо традиционно наблюдавшихся малых планет и спутников больших планет вошли наблюдения астероидов, сближающихся с Землей, двойных астероидов и наблюдения, направленные на поиск неизвестных пока двойных астероидов. Работа выполняется при поддержке грантов РФФИ № 04-02-16157 и № 04-07-90081.

**THE SOME RESULTS OF THE CCD-OBSERVATIONS OF SOLAR SYSTEM MINOR BODIES WITH NORMAL ASTROGRAPH OF THE PULKOVO OBSERVATORY DURING 2005-2006 YEARS AND PLANING OBSERVATIONS** by E.V Khrutskaya, M. Yu Khovritchev, A.A.Berezhnoj.

The CCD-detector produced by Elecrton Optronik (Saint-Petersburg) had been installed on the Pulkovo Normal astrograph focal plane at December 2004. The 37 asteroids of the main belt and comets C/2004 Q2, 06A01, 73P were observed in 2005- 2006 years. The UCAC2 astrometric catalog was used as reference catalog for reduction of the CCD-frames. The limiting magnitude is 16.5 to17.0 (with 4 minutes exposure). The internal (within one night) astrometric accuracy of the minor planet is mainly 30 to 100 mas and the external (within whole observational period) accuracy is 40 to 200 mas. It is significantly better than the asteroids photographic observation results with the same instrument at the 2000 (250 to 300 mas). The new observational program of the CCD-observations with normal astrograph includes observations of the double asteroids, occultations of stars by asteroids, NEO-objects, apparent close approaches of the asteroids to the stars, planetary natural satellites. This work was carried out with supporting of Russian Foundation of Basic Research, projects № 04-02-16157 and № 04-07-90081.

В декабре 2004 года на нормальном астрографе Пулковской обсерватории ( $D/F=330/3467$  мм) была установлена ПЗС-матрица производства ГУП НПП “Электрон Оптроник” (S2C-017AP), рабочее поле которой составило  $18' \times 16'$ , размер пикселя  $16 \times 16$  мкм, число эффективных пикселей  $1040 \times 1160$ . Регистрация точного времени осуществлялась на основе микросигналов UTC Службы времени обсерватории посредством специального устройства, подключенного через LTP-порт компьютера и программного модуля AccuTime [1].

Астрометрическая редукция ПЗС-кадров выполнялась методом шести постоянных. Использовался программный пакет, разработанный в ГАО И.С.Измайловым [2]. Точность полученных результатов оценивалась из сходимости величин (О-С), представляющих разности наблюденных координат с эфемеридой, вычисленной с помощью программной системы ЭПОС [3].

Первым объектом ПЗС-наблюдений стала комета C/2004 Q2 (Machholz). С 31 декабря 2004 г. по 9 февраля 2005 г. за 7 вечеров было получено 138 ПЗС-кадров с кометой, блеск которой менялся в диапазоне  $4.3^m \rightarrow 4.1^m \rightarrow 5.2^m$ , склонения от  $+8^\circ$  до  $+70^\circ$ . При обработке, в качестве опорных, использовались звезды из каталога UCAC2 и каталога USNO-A2.0 для полей со склонением больше  $+50^\circ$ . Внутренняя точность полученных наблюдений (по сходимости (О-С) в пределах одной серии ПЗС-наблюдений) в среднем составила

108 mas по RA и 175 mas по DECL. Точность по внешней сходимости (по сходимости (O-C) в разные ночи) - 181 mas по RA и 274 mas по DECL. Полученные экваториальные координаты кометы отправлены в Международный центр малых планет [4].

Последующие наблюдения с новой ПЗС-матрицей велись параллельно с ее исследованиями. Основная цель наблюдений 2005 г. заключалась в определении новых возможностей инструмента в плане предельной звездной величины, качества изображения и точности результатов. Выполнялись наблюдения малых планет ранее наблюдавшихся на нормальном астрографе фотографическим способом: из списка 13-ти избранных малых планет, а также более слабые астероиды из известных двойных или подозреваемых на двойственность. На данном этапе обработка наблюдений выполнялась по упрощенной схеме (без коррекции плоского поля и без введения поправок за различные систематические эффекты). В качестве опорного использовался каталог UCAC2. Пробные наблюдения показали, что на данный момент при экспозиции 4 минуты уверенно можно наблюдать объекты до  $16.5^m$  -  $17^m$ .

Несмотря на упрощенный характер обработки изображений и то, что наблюдения, нередко, проводились «сквозь легкую облачную пленку», полученная точность оказалась значительно выше точности аналогичных фотографических наблюдений, выполненных ранее на данном инструменте. Так, среднеквадратическая ошибка одного наблюдения по внутренней сходимости, в среднем, составила 56/60 mas для ПЗС-наблюдений против 173/195 mas, полученных по фотографическим наблюдениям малых планет в 1995-2000 гг. на том же инструменте [5]. Средняя точность по внешней сходимости соответственно составила 92/96 mas для ПЗС-наблюдений и 310/290 mas для фотографических наблюдений [5]. Оценки точности ПЗС-наблюдений 2005 г, а также средние значения величин (O-C) представлены в Таблице 1. Внутренняя среднеквадратическая ошибка (СКО) характеризует сходимость результатов в рамках одной ночи, внешняя СКО – сходимость за весь период наблюдений.

**Таблица 1.** Средние значения величин (O-C) по прямому восхождению и склонению и среднеквадратические ошибки (СКО) одного наблюдения для координат малых планет по внутренней и внешней сходимости. Результаты наблюдений 2005 г. Единицы: mas.

Номер Объекта	Число Набл./ Ночей	Среднее (O-C) $\alpha \cos \delta$	Среднее (O-C) $\delta$	Внутренняя СКО по $\alpha / \delta$	Внешняя СКО по $\alpha / \delta$	Интервал зв. величин
<b>6</b>	46/5	23 ± 13	-14 ± 15	40/39	91/102	9.9-10.2
<b>29</b>	29/3	-87 ± 13	-101 ± 12	53/46	72/62	9.9-10.2
<b>45</b>	10/1	79 ± 10	-258 ± 17	31/54	-	11.4
<b>65</b>	5/1	58 ± 13	76 ± 13	29/30	-	13.1
<b>121</b>	90/6	-132 ± 5	109 ± 8	36/37	48/66	13.0-13.8
<b>130</b>	41/2	-90 ± 8	122 ± 9	36/35	53/59	12.5-12.7
<b>129</b>	18/2	263 ± 15	-157 ± 15	51/49	92/88	9.9-10.1
<b>283</b>	22/3	47 ± 24	87 ± 18	113/69	114/84	14.0-14.5
<b>564</b>	10/1	-155 ± 17	-135 ± 23	53/73	-	14.7
<b>617</b>	42/8	-292 ± 66	177 ± 59	111/161	228/202	15.8-16.3
<b>762</b>	77/6	-75 ± 6	-11 ± 9	47/61	51/75	13.6-13.9
<b>816</b>	10/1	-418 ± 25	45 ± 22	59/73	-	15.0
<b>1062</b>	11(1)	19 ± 44	-55 ± 29	144/95	-	15.1

Полученная точность позволяет использовать инструмент для решения ряда актуальных задач современной астрономии в связи с чем, в 2006 г. программа наблюдений была расширена. Помимо традиционно наблюдавшихся малых планет и спутников больших

планет в программу наблюдений вошли астероиды, сближающиеся с Землей, известные двойные астероиды, астероиды подозреваемые на двойственность, а также астероиды, среди которых предполагается поиск неизвестных ранее двойных астероидов.

Программа наблюдения предполагаемых двойных астероидов и поиска неизвестных еще двойных астероидов имеет конечной целью определение количества таких объектов и суммы масс их компонент. В настоящее время для наблюдений отобрано 279 астероидов до 16<sup>m</sup>.0. Отобраны астероиды, располагающиеся вблизи противостояния со склонениями севернее  $-10^\circ$ . Средняя точность ПЗС-наблюдений ( $\sim 50$  mas) позволяет детектировать на нормальном астрографе линейное расстояние (фотоцентр-центр масс) для двойных астероидов в пределах главного пояса от 100 км. до 150 км. Поэтому, исходя из статистики двойных астероидов главного пояса, в программу не включались объекты размером меньше 10-20 км. Так как периоды обращения двойных астероидов колеблются от нескольких часов до нескольких суток, наблюдения одного объекта проводилось 2-3 раза в течении ночи. В таблице 2 приводятся результаты наблюдений 28 астероидов, наблюдавшихся в период январь-май 2006 г.

**Таблица 2.** Средние значения величин (О-С) по прямому восхождению и склонению и среднеквадратические ошибки (СКО) одного наблюдения для координат малых планет по внутренней и внешней сходимости. Результаты наблюдений 2006 г. Единицы: mas.

Номер объекта	Число набл./ночей	Среднее (О-С) $\alpha \cos \delta$	Среднее (О-С) $\delta$	Внутренняя СКО по $\alpha / \delta$	Внешняя СКО по $\alpha / \delta$	Интервал зв. величин
9	242/2	-33 ± 4	21 ± 4	46/38	61/61	9.0-11.4
712	8/1	114 ± 11	-79 ± 11	32/31	-	11.5-12.6
71	133/11	-218 ± 7	35 ± 6	52/55	71/67	10.5-14.6
65	125/11	8 ± 5	67 ± 4	31/29	56/44	11.9-14.1
64	143/12	21 ± 5	133 ± 5	54/55	62/59	9.9-12.3
60	112/7	162 ± 5	106 ± 5	34/27	50/48	10.2-13.5
53	74/7	-52 ± 6	-27 ± 6	38/42	48/50	11.1-13.4
52	58/5	-53 ± 11	-18 ± 11	69/69	86/87	12.3-12.9
505	77/5	-88 ± 9	-68 ± 7	70/61	75/61	12.5-13.6
481	20/1	33 ± 5	126 ± 4	21/16	-	12.2
472	8/1	33 ± 31	-134 ± 33	86/92	-	14.5
40	145/14	45 ± 6	29 ± 6	45/42	68/66	10.4-12.1
38	11/1	-185 ± 7	-22 ± 10	22/33	-	12.2
354	282/26	173 ± 3	18 ± 3	47/47	58/59	9.5-13.3
283	39/3	-4 ± 12	-122 ± 11	68/72	74/70	13.8-14.2
245	8/1	-165 ± 23	-74 ± 23	66/64	-	13.7
202	58/4	-153 ± 9	194 ± 10	56/48	70/74	12.0-12.6
2	73/5	-14 ± 7	108 ± 6	38/42	59/53	10.7-11.3
192	7/1	-6 ± 27	-1 ± 27	71/71	-	12.2
185	128/11	-217 ± 7	101 ± 6	61/50	78/70	12.9-13.5
181	117/10	-80 ± 6	-75 ± 5	46/47	66/59	12.4-12.7
173	74/3	39 ± 13	-6 ± 13	42/37	74/45	11.3-12.2
16	19/1	-43 ± 4	21 ± 4	16/19	-	10.1
130	206/18	-200 ± 5	-27 ± 4	54/47	67/58	12.8-13.2
121	49/3	-100 ± 10	-13 ± 8	63/53	67/57	12.9-13.8
111	72/4	-274 ± 5	30 ± 6	38/36	44/52	10.6-13.8
11	10/1	-207 ± 7	-43 ± 8	22/25	-	10.4
1021	9/1	-342 ± 29	-124 ± 28	88/85	-	14.4

Задача поиска двойных астероидов сводится к выявлению волнообразности в движении астероидов на фоне звезд, обусловленной различным характером движения фотоцентра и центра масс. Этот эффект может быть обнаружен методом спектрального анализа величин (O-C) по длительным рядам наблюдений, учитывая высокую точность ПЗС-наблюдений на нормальном астрографе (~20-50 mas) [8].

Для астероидов 9<sup>m</sup>.0 – 14<sup>m</sup>.6 величины средних значений ошибок по внутренней сходимости составили 0<sup>''</sup>.049 для прямого восхождения и 0<sup>''</sup>.048 для склонения. Ошибки по внешней сходимости соответственно равны 0<sup>''</sup>.065 и 0<sup>''</sup>.060.

При наблюдениях астероидов, сближающихся с Землей, наибольшее внимание планируется уделить наблюдениям покрытий звезд такими астероидами и наблюдению тесных сближений астероидов со звездами космических каталогов. Как показал опыт, такие наблюдения позволят с точностью порядка 0<sup>''</sup>.003 - 0<sup>''</sup>.01 получить минимальное расстояние ( $r_{\min}$ ) и время максимального сближения (покрытия) ( $t_0$ ). Полученные данные могут быть использованы для уточнения элементов орбит этих объектов.

В 2006 г. были выполнены наблюдения двух комет – Поймански (06A01) и Швассман-Вахман (73P, фрагменты В и С). В таблице 3 приводятся результаты этих наблюдений в период март-май 2006 г.

**Таблица 3.** Средние значения величин (O-C) по прямому восхождению и склонению и среднеквадратические ошибки (СКО) одного наблюдения для координат комет по внутренней и внешней сходимости. Результаты наблюдений 2006 г. Единицы: mas.

Номер Объекта	Число набл./ночей	Среднее (O-C) $\alpha \cos \delta$	Среднее (O-C) $\delta$	Внутренняя СКО по $\alpha / \delta$	Внешняя СКО по $\alpha / \delta$	Интервал зв. величин
06A01	27/3	343 ± 63	-51 ± 123	258/498	325/637	7.9-10.1
73P-В	167/10	-3872 ± 214	-4449 ± 86	586/600	2771/3699	8.8-6.8
73P-С	204/13	62 ± 51	-1205 ± 34	115/79	722/483	10.9-6.5

В настоящее время проводится ревизия наблюдательной программы для получения материала пригодного для изучения эволюции орбит астероидов, уточнения динамических характеристик двойных астероидов и астероидов, подозреваемых на двойственность, а также для установления связи динамической и космической систем координат.

Все полученные результаты наблюдений малых планет и комет отправлены в Международный центр малых планет [6] и размещены в Пулковской базе данных с результатами наблюдений тел Солнечной системы ([www.pulldb.ru](http://www.pulldb.ru)) [7].

### Литература.

1. Канаев И.И, Девяткин А.В, и др. Автоматизация астрономических наблюдений на зеркальном телескопе ЗА-320. 2002. Известия ГАО в Пулкове. N 216. С. 128-156.
2. Khrutskaya E.V, Khovritchev M.Yu, Narizhnaja N.V, Izmailov I.S. The observations of Machholz comet in 2004-2005 years at the Pulkovo observatory. Minor Planet Circular 2005. 54797. 2.
3. Измайлов И.С. <http://www.izmccd.pulldb.ru>
4. Львов В.Н, Смехачева Р.И, Цекмейстер С.Д. ЭПОС- пакет программ для работ по изучению объектов Солнечной системы. 2001. Сб. трудов конференции “Околосемная астрономия XXI века”. С. 235-240.
5. Devyatkin A.V, Khrutskaya E.V, Khovritchev M.Yu, et. al. The observations of minor planets in 2005 year at the Pulkovo observatory. 2005. Minor Planet Circular 54966. 8.

6. Бронникова Н. М., Васильева Т. А. Анализ точности позиционных фотографических наблюдений малых планет в Пулкове. 2002. Известия ГАО РАН в Пулкове. № 216. С. 66–72.
7. Е.В.Хруцкая, М.Ю.Ховричев, С.И.Калинин. Первые результаты ПЗС-наблюдений малых тел Солнечной системы на Нормальном астрографе и астрометрическая база данных тел Солнечной системы Пулковской обсерватории. 2005. Материалы Всероссийской конференции “Астероидно-кометная опасность -2005”, С.328-331.
8. J.V. Kikwaya et. al. Does 146 Lucina have a satellite? An astrometric approach. Lunar and Planetary Science XXXIV. 2003.