

УДК 521.9+523.44

**Положения 19 избранных малых планет  
в системе ICRS по наблюдениям на зонном астрографе  
Николаевской астрономической обсерватории  
в 1961—1997 гг.**

Г. К. Горель, Л. А. Гудкова

Николаевская астрономическая обсерватория  
54030, Николаев, Обсерваторная, 1

*Полученные на зонном астрографе Николаевской астрономической обсерватории в 1961—1997 гг. положения 19 избранных малых планет приведены на систему ICRS с использованием координат опорных звезд из каталогов HIPPARCOS и «Tycho», а собственных движений — из каталога ASTRC. Средняя квадратичная погрешность одного положения оказалась равной 0.16" по каждой координате для 12 наиболее часто наблюдаемых малых планет, т. е. для 97 % всего массива положений. Каталог 2450 топоцентрических положений на равноденствие J 2000.0 доступен для пользователей через сеть Интернет в Страсбургском центре данных CDS, его филиале — Астрономическом центре данных РАН и в Центре малых планет MPC.*

*ПОЛОЖЕННЯ 19 ВИБРАНИХ МАЛИХ ПЛАНЕТ В СИСТЕМІ ICRS ЗА СПОСТЕРЕЖЕННЯМИ НА ЗОННОМУ АСТРОГРАФІ МИКОЛАЇВСЬКОЇ АСТРОНОМІЧНОЇ ОБСЕРВАТОРІЇ В 1961—1997 рр., Горель Г. К., Гудкова Л. О. — Одержані на зонному астрографі Миколаївської астрономічної обсерваторії положення 19 вибраних малих планет (ВМП) переведені на систему ICRS з використанням координат опорних зір із каталогів HIPPARCOS і «Tycho», а власних рухів — із каталогу ASTRC. Середня квадратична похибка одного положення виявилась рівною 0.16" по кожній координаті для 12 найчастіше спостережуваних малих планет, тобто для 97 % всього масиву положень. Каталог 2450 топоцентричних положень на рівнодення J 2000.0 доступний для користувачів через мережу Інтернет в Страсбурзькому центрі даних CDS, його філії — Астрономічному центрі даних РАН і в Центрі малих планет MPC.*

*CATALOGUE OF 2450 POSITIONS OF 19 SELECTED MINOR PLANETS ON ICRS SYSTEM OBTAINED WITH THE ZONAL ASTROGRAPH AT NIKOLAEV DURING 1961—1997, by Gorel G. K., Gudkova L. A. — Photographic positions of 19 selected minor planets (SMP), obtained with the Zonal Astrograph at Nikolaev during 1961—1997 were reduced to the ICRS system using reference stars from HIPPARCOS and Tycho star catalogues and*

*proper motions from ACT Reference Catalogue. Rms of one position is 0.16" in both coordinates.*

## ВВЕДЕНИЕ

Теоретическое обоснование программы наблюдений избранных малых планет с целью определения поправок к нуль-пунктам опорного каталога было заложено еще в 30-е годы нашего столетия в работах [6, 7, 10, 11]. Реализация этого предложения практически начата во многих обсерваториях мира в 1950-е годы и продолжается в настоящее время. Николаевская астрономическая обсерватория принимает участие в упомянутой программе с 1961 г. Результаты наблюдений избранных малых планет на зонном астрографе ( $D = 12$  см,  $F = 2.04$  м), опубликованы, однако обработка наблюдений проводилась в системах разных опорных каталогов («Yale», SAO, AGK3, PPM), вследствие чего использование их в полном объеме затруднено. Результаты обработки 30-летнего ряда положений 19 избранных малых планет, полученных в системе FK5 прямой редукционной переобработкой всех старых измерений с выбором положений опорных звезд из каталога PPM [15], представлены в работах [1, 2], а каталог 2407 положений размещен в базе данных Центра малых планет (MPC).

С завершением космической миссии HIPPARCOS и появлением высокоточных астрометрических каталогов HIPPARCOS (HC) и «Tycho» (TC) [16], реализующих в оптическом диапазоне новую международную систему ICRS, имеется возможность использовать космические наблюдения малых планет для согласования ориентировки осей ICRS и динамической системы координат. Однако точность определения ориентации каталога HC по отношению к динамической системе координат DE200 по наблюдениям 48 малых планет, полученным в рамках космической миссии, оказалась хуже внутренней точности каталога HC вследствие недостаточной длительности интервала наблюдений и неравномерного распределения наблюдений в орбитах [9]. Последующий опыт привлечения наземных и космических рядов наблюдений двух малых планет [12] для повышения точности привязки каталога HC к DE200 подтвердил, что длительные ряды наземных наблюдений малых планет не утратили своего значения и актуальности.

## ПЕРЕВОД ПОЛОЖЕНИЙ 19 МАЛЫХ ПЛАНЕТ НА СИСТЕМУ ICRS

Задача перевода положений 19 избранных малых планет из системы FK5 на новую международную систему ICRS с помощью депенденсов значительно

Таблица 1. Точностные характеристики опорных каталогов

Каталог	Ошибки положений	Ошибки годичных собственных движений	Эпоха	Количество звезд
Система ICRS				
HIPPARCOS	$\pm 0.00064 \dots 0.00074''$	$\pm 0.00074 \dots 0.00088''$	J1991.25	118218
TYCHO	0.007...0.025	0.0300...0.0400	J1991.25	1058332
ACTRC	0.150...0.300	< 0.0030	эпоха набл.	988758
Система FK5				
PPM_N	0.270	0.0043...0.0042	J1990.00	181731
PPM_S	0.110	0.0030	J1990.00	197179
Система FK4				
AGK3	0.45	0.0095	J1990.00	181581
SAO	0.90	0.0150	J1990.00	133000

облегчилась наличием на машинных носителях всей исходной информации: моментов наблюдений, положений малых планет в системе FK5, номеров опорных звезд по каталогу PPM и депенденсов, полученных ранее в процессе редуцированной переобработки. Затруднения возникли при выборе подходящей опорной системы для перевода наблюдений на систему ICRS. Плотность звезд в каталоге HC, имеющего превосходную астрометрическую точность (табл. 1), обеспечивала потребность в опорных звездах для разных планет нашего списка только на 35—62 %, поэтому координаты недостающих опорных звезд было решено заимствовать из каталога TC, несмотря на худшую точность (табл. 1). Правомерность такого решения подтверждается оценками точности астрометрической редукиции, полученными для разных опорных систем по формуле из работы А. Киселева [5] для случая применения линейных методов редукиции:

$$\varepsilon_0^2 = \varepsilon_{m0}^2 + (\varepsilon_{ms}^2 + \varepsilon_{ks}^2) \sum D_i^2,$$

где  $\varepsilon_0$  — погрешность вычисленного положения объекта,  $\varepsilon_{m0}$ ,  $\varepsilon_{ms}$  — средние квадратичные погрешности измерений объекта и опорных звезд на пластинках зонного астрографа,  $\varepsilon_{ks}$  — средняя квадратичная погрешность каталожного положения опорной звезды на эпоху наблюдения,  $D_i$  — депенденсы опорных звезд. Для определяемого объекта, расположенного в центре симметрии опорных звезд,  $\sum D_i^2 = 1/N$ .

Приняв на основе многолетнего опыта измерений объектов Солнечной системы на астронегативах зонного астрографа  $\varepsilon_{m0} < 0.10''$ ,  $\varepsilon_{ms} < 0.15''$  (ошибка измерений объекта выше, чем опорных звезд, вследствие принятой методики измерений объекта до и после опорных звезд),  $N = 6$  — число опорных звезд для большинства случаев редукиции, получаем, что в случайном отношении погрешность положения определяемого объекта не изменится даже при использовании на порядок менее точных положений опорных звезд из каталога TC (табл. 2).

Свойства системы собственных движений в HC и TC, названной «мгновенной» за слишком короткий интервал времени ее определения [16], и низкая точность собственных движений в TC (табл. 1) не позволяют использовать их при редукиции наблюдений, эпоха которых отличается от эпохи HC и TC больше чем на 10 лет [14]. На основании рекомендации Хега [13] было принято решение об использовании собственных движений из других опорных каталогов и о переводе положений малых планет на систему ICRS в трех вариантах: положения опорных звезд для трех вариантов заимствованы из каталогов HC + TC, а собственные движения — из каталогов HC + TC или ACTRC [17], или PPM. Перевод положений из одной системы в другую с помощью депенденсов осуществлялся по известным формулам [8].

Сравнение полученных в трех вариантах положений 12 малых планет, составляющих 97 % всего объема фотографических наблюдений в Никола-

Таблица 2. Точность астрометрической редукиции на астронегативах зонного астрографа в системах различных опорных каталогов

Каталог	Эпоха	$\varepsilon_{ks}$	$\varepsilon_0$
AGK3+SAO	2000.00	$\pm 0.60''$	$\pm 0.27''$
PPMN	1991.00	0.27	0.16
PPMS	1991.00	0.13	0.13
Tycho	1991.25	0.028	0.12
Hipparcos	1991.25	0.001	0.12

Таблица 3. Точностные характеристики положений 12 малых планет

Вариант	Каталог положений	Каталог собственных движений	$\overline{(O - C)_\alpha}$	$\varepsilon_\alpha$	$\overline{(O - C)_\delta}$	$\varepsilon_\delta$
0 FK5	PPM	PPM	-0.030"	$\pm 0.194''$	-0.058"	$\pm 0.186''$
1 ICRS	TYCHO+HIP	TYCHO+HIP	-0.035	0.192	-0.020	0.180
2 ICRS	TYCHO+HIP	ACTRC	-0.030	0.156	-0.019	0.161
3 ICRS+FK5	TYCHO+HIP	PPM	-0.022	0.166	-0.024	0.174

еве [4], проводилось с эфемеридой, вычисленной на моменты наблюдений в ИТА РАН с улучшенными элементами орбит [2]. Положения семи малых планет, наблюдения которых осуществлялись нерегулярно на протяжении одной-двух оппозиций (всего 79 положений), не использовались для определения параметров ориентации опорных систем и не дискутировались. Средние значения разностей  $O - C$  по каждой координате и средние квадратичные погрешности одной разности представлены в табл. 3. В верхней строке табл. 3 для сравнения приведены также разности положений тех же 12 малых планет, полученных ранее в системе FK5 (вариант 0).

#### АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ И ВЫВОДЫ

Анализ средних квадратичных погрешностей из табл. 3 показывает, что перевод положений на опорную систему каталогов HC и TC повысил их точность в случайном отношении не больше чем на 20 %, тогда как при переводе положений из системы каталогов «Yale», SAO, AGK3 на систему FK5 случайная погрешность определения одного положения уменьшилась в 1.5—2 раза [4]. Это свидетельствует о том, что дальнейшее повышение точности положений в случайном отношении ограничивается принятой методикой фотографирования малых планет на зонном астрографе. При обработке астронегативов с тремя экспозициями лучшая достижимая погрешность  $\varepsilon = 0.12...0.13''$ .

По данным табл. 3 предпочтение было отдано второму варианту определенных положений малых планет, т. к. он характеризуется не только однородной системой положений и собственных движений опорных звезд, но и лучшей точностью определения координат объектов.

В работе [17] отмечено, что собственные движения ACTRC переведены на систему ICRS. Для подтверждения правомерности их использования совместно с положениями из HC и TC нами проведено сравнение положений малых планет, полученных в первом и втором вариантах. Найденные разности положений фактически зависят только от различия каталожных собственных движений опорных звезд в трех каталогах. Результаты сравнения представлены на рис. 1.

Распределение разностей свидетельствует об отсутствии заметных систематических различий в собственных движениях каталогов HC, TC и ACTR, но разброс разностей положений по обеим координатам достигает 2.5" по прямому восхождению и 1.2" по склонению. Заметное уменьшение разностей по обеим координатам на интервале с 1964 по 1971 гг. объясняется тем, что положения малых планет в варианте 1 были определены только по координатам и собственным движениям опорных звезд из HC. Разности положений на этом интервале наблюдений не превышают 0.28" по прямому восхождению и 0.23" по склонению. Таким образом, основной причиной получения больших разностей на рис. 1 являются менее точные

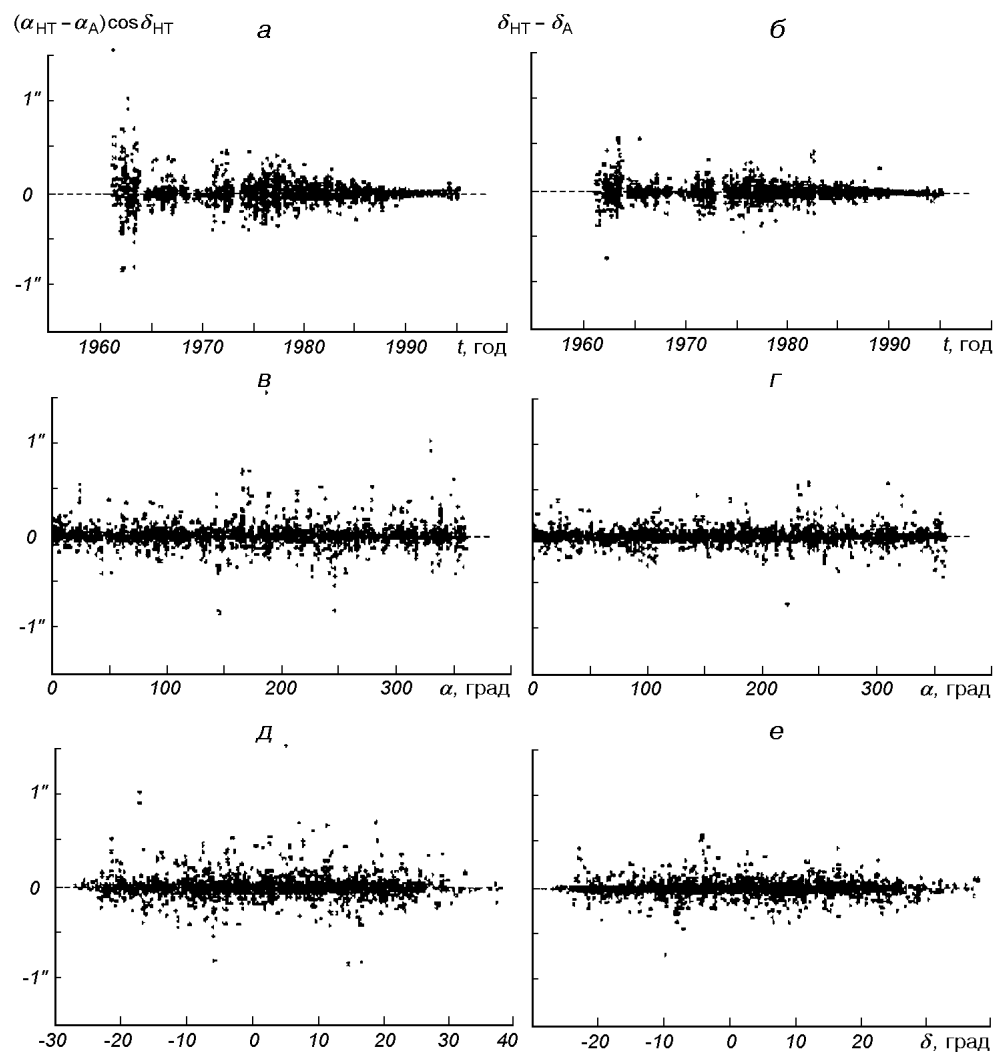


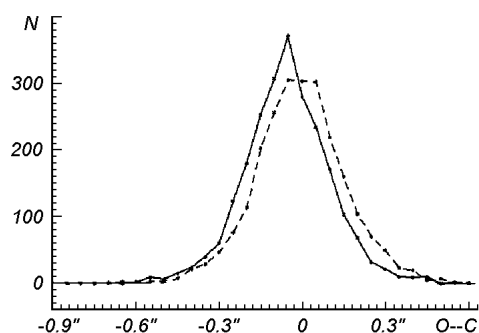
Рис. 1. Распределение разностей координат  $(\alpha_{HT} - \alpha_A) \cos \delta_{HT}$  и  $\delta_{HT} - \delta_A$  для 12 малых планет, полученных с использованием собственных движений опорных звезд из каталогов HC, TC ( $\alpha_{HT}$ ,  $\delta_{HT}$ ) и ASTRC ( $\alpha_A$ ,  $\delta_A$ ), в зависимости от периода наблюдений (а, б), от прямого восхождения (в, г) и от склонения (д, е)

Таблица 4. Фрагмент каталога положений малых планет

Номер планеты	Момент наблюдения, UTC	$\alpha(J2000.0)$	$\delta(J2000.0)$
001	2437671.236100	2 <sup>h</sup> 48 <sup>m</sup> 59.779 <sup>s</sup>	11°33'20.16"
001	2437674.249800	2 49 19.338	11 48 27.64
001	2438019.626960	11 25 57.673	15 55 16.62
001	2438032.611830	11 34 29.161	16 22 43.77
001	2438049.530060	11 39 30.037	17 41 59.48
001	2438084.455730	11 25 31.651	22 3 25.96
001	2438085.448730	11 24 44.120	22 10 34.82
001	2438090.417190	11 20 36.247	22 44 10.80
001	2438143.278140	10 50 29.633	22 54 43.90
001	2438144.255360	10 50 31.528	22 49 11.58
001	2438145.259820	10 50 35.003	22 43 20.63
001	2438155.267920	10 52 32.936	21 37 0.11
001	2438158.275380	10 53 36.326	21 14 32.14
001	2438973.537700	0 34 14.723	-11 25 24.77
001	2438981.545650	0 33 52.624	-12 3 31.37
001	2438982.533310	0 33 43.900	-12 8 42.64

Таблица 5. Результаты сравнения положений 12 малых планет в системах ICRS и DE200

Астероид	$\overline{(O - C)}_\alpha$	$\varepsilon_\alpha$	$\overline{(O - C)}_\delta$	$\varepsilon_\delta$	Количество положений
1 Ceres	-0.034"	$\pm 0.118''$	0.023"	$\pm 0.136''$	217
2 Pallas	-0.026	0.130	0.012	0.146	264
3 Juno	-0.028	0.143	0.020	0.158	245
4 Vesta	-0.034	0.126	-0.020	0.142	241
6 Hebe	-0.025	0.162	0.021	0.149	226
7 Iris	-0.030	0.167	0.020	0.172	197
11 Parthenope	-0.029	0.181	0.030	0.170	191
18 Melpomene	-0.028	0.157	0.026	0.172	212
39 Laetitia	-0.029	0.176	0.034	0.179	237
40 Harmonia	-0.032	0.200	0.045	0.186	203
532 Herculina	-0.039	0.144	0.011	0.156	68
704 Interamnia	-0.041	0.131	-0.008	0.137	65
Среднее	$-0.030 \pm 0.003$	0.156	$0.019 \pm 0.003$	0.161	2366

Рис. 2. Распределение  $(O - C)_\alpha$  (сплошная линия) и  $(O - C)_\delta$  (штриховая линия) для 12 малых планет

собственные движения из ТС, снизившие точность положений малых планет в варианте 1.

По результатам второго варианта редуцирования измерений составлен каталог 2450 положений для 19 избранных малых планет в системе опорных звезд из каталогов HC и TC, а собственных движений из каталога ACTRC, реализующих международную систему ICRS. В каталоге приведены следующие сведения: номер малой планеты, момент наблюдения по шкале всемирного координированного времени UTC, топоцентрические прямое восхождение и склонение на равноденствие J 2000.0. Для иллюстрации в табл. 4 приведена часть составленного каталога положений малых планет в системе ICRS. Каталог доступен для пользователей через сеть Интернет в Страсбургском центре данных (<http://cdswed.u-strasbg.fr/cats/J.html>), его филиале — Астрономическом центре данных РАН и в Центре малых планет (<http://cfa-www.harvard.edu/cfa/ps/mpc.html>).

Точностные характеристики положений 12 малых планет, составивших основу каталога, приведены в табл. 5. В таблице даны средние значения  $O - C$  по каждой координате для 12 малых планет и средние квадратичные погрешности  $\varepsilon_\alpha$  и  $\varepsilon_\delta$  одной разности, вычисленные по всему периоду наблюдений каждой планеты. Оценки точности получены после исключения разностей  $O - C$ , превышающих  $3\sigma$ . Число исключенных положений не превышает 0.5 %. В последней строке таблицы приведены СКО значений разностей  $O - C$  по всему массиву наблюдений. Представленное на рис. 2 распределение разностей  $O - C$  для 12 избранных малых планет подчиняется нормальному закону распределения, что подтверждается оценками степени приближения действительного распределения к нормальному [3], и находится в пределах от  $-0.5''$  до  $+0.5''$ . Средняя квадратичная погрешность

одного положения по всему массиву наблюдений составила в среднем по обеим координатам  $0.16''$ . Такая точность положений малых планет удовлетворяет теоретически обоснованным требованиям ( $\leq 0.2''$ ) в [6, 7, 10] для решения задач по уточнению теории движения малых планет, согласованию ориентировки осей каталожных и динамических систем координат, а также для исследования систематических ошибок каталогов опорных звезд.

1. Батраков Ю. В., Горель Г. К., Гудкова Л. А. и др. Об уточнении нуль-пунктов звездного каталога по наблюдениям малых планет в Николаеве // Современные проблемы и методы астрометрии и геодинамики: Тр. конф. — С.-Петербург, 1996.—С. 23—27.
2. Батраков Ю. В., Горель Г. К., Гудкова Л. А., Чернетенко Ю. А. Нуль-пункты каталога FK5 по наблюдениям малых планет в Николаеве // Тр. Гос. астрон. ин-та им. П. К. Штернберга.—1998.—66.—С. 60—64.
3. Богдашова В. Д. Теория ошибок наблюдений. — М.: Недра, 1965.—184 с.
4. Горель Г. К., Гудкова Л. А. Каталог 2407 положений 19 избранных малых планет в системе FK5, полученных на Николаевском зонном астрографе в 1961—1997 гг. // Астрон. вестник.—2000.—34, № 4.
5. Киселев А. А. Теоретические основания фотографической астрометрии. — М.: Наука, 1989.—260 с.
6. Нумеров Б. В. К вопросу об определении систематических ошибок склонений фундаментальных звезд // Бюл. Астрон. ин-та.—1933.—№ 32.—С. 139—147.
7. Нумеров Б. В. Теоретические основания применения теории движения малых планет к определению систематических ошибок склонений // Тр. астрон. конф. (Пулково, 5—9 марта 1932 г.) — Л.: Изд.-во Пулковской обсерватории, 1933.—С. 41—44.
8. Подобед В. В., Нестеров В. В. Общая астрометрия. — М.: Наука, 1982.—576 с.
9. Bang J. F., Vec-Borsenberger A. Determination of the masses of minor planets // Hipparcos Venice'97 / Ed. B. Battrock. — Noordwijk: ESA Publ.—1997.—P. 169—172.
10. Brouwer D. On the determination of systematic corrections to star positions from observations of minor planets // Astron. J.—1935.—44, N 1022.—P. 57—63.
11. Dneprovsky N. On the methods for the improvement of the fundamental declinations of stars // Изв. ГАО АН СССР.—1932.—13, N 112.—С. 1—24.
12. Hestroffer D., Viateau B., Rapaport M. Minor planets ephemerides improvements: From joint analysis of Hipparcos and ground-based observations // Astron. and Astrophys.—1998.—331, N 4.—P. 1113—1118.
13. Hog E. The Tycho catalogue: astrometry and photometry // Hipparcos Venice '97 / Ed. by B. Battrock. — Noordwijk: ESA Publ. 1997.—P. 25—30.
14. Robichon N., Turon C., Makarov V. V., et al. Schmidt plate astrometric reductions using preliminary Hipparcos and Tycho data // Astron. and Astrophys.—1995.—304, N 1.—P. 132—140.
15. Roser S., Bastian U. PPM Star Catalogue: Positions and proper motions // Veroff. Astron. Rechen-Inst.—1991.—Vol. 1—3.
16. The Hipparcos and Tycho Catalogues. — Noordwijk: ESA Publ, 1997.—Vol. 1—17.
17. Urban S. E., Corbin T. E., Wycoff G. L. The ACT Reference Catalog // ASCII CD-ROM. 1997.

Поступила в редакцию 06.04.00