

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК

**ИЗВЕСТИЯ
ГЛАВНОЙ
АСТРОНОМИЧЕСКОЙ
ОБСЕРВАТОРИИ
В ПУЛКОВЕ**

№ 223

**Труды
Всероссийской астрометрической конференции
«ПУЛКОВО – 2015»**

Санкт-Петербург
2016

Редакционная коллегия:

Член-корреспондент РАН **А.В. Степанов** (ответственный редактор)

член-корреспондент РАН **В.К. Абалакин**
доктор физ.-мат. наук **А.Т. Байкова**
кандидат физ.-мат. наук **Т.П. Борисевич** (ответственный секретарь)
доктор физ.-мат. наук **Ю.Н. Гнедин**
доктор физ.-мат. наук **А.В. Девяткин**
доктор физ.-мат. наук **Р.Н. Ихсанов**
доктор физ.-мат. наук **Ю.А. Наговицын**
доктор физ.-мат. наук **А.А. Соловьев**

Зав. редакцией **Е.Л. Терёхина**

Издание осуществлено с оригинала, подготовленного к печати
Главной (Пулковской) астрономической обсерваторией РАН

**ИЗВЕСТИЯ
ГЛАВНОЙ АСТРОНОМИЧЕСКОЙ ОБСЕРВАТОРИИ
В ПУЛКОВЕ
№ 223
Труды Всероссийской астрометрической конференции
«Пулково – 2015»**

Утверждено к печати
Главной (Пулковской) астрономической обсерваторией РАН

Компьютерная верстка оригинал-макета Е.Л. Терёхиной

ISBN 978-5-9651-0959-3

© Главная (Пулковская) астрономическая обсерватория РАН, 2016

СОДЕРЖАНИЕ

Секция 1

Наземная и космическая астрометрия

Авраменко А.Е., Лосовский Б.Я.

Наблюдательная ротационная устойчивость пульсаров 11

Амосов Ф.А., Витязев В.В., Цветков А.С.

Определение параметров межзвездного поглощения света по данным каталога Hipparcos 17

Витязев В.В., Цветков А.С.

Сравнение галактических систем координат XPM и UCAC4 23

Измайлов И.С., Рощина Е.А., Горшанов Д.Л., Назаров С.В.

Фотометрические наблюдения взаимных явлений в системе галилеевых спутников Юпитера в 2015 г. 29

Левкина П.А., Бахтигараев Н.С., Чазов В.В.

Результаты наблюдений неизвестных объектов космического мусора в геостационарной области 33

Липовка А.А., Липовка Н.М.

Радиоизлучение звезд $1^m - 12^m$ 39

Малкин З.М.

Влияние галактической абберации на результаты определения связи оптической и радио систем отсчета 45

Малкин З.М.

Новая версия каталога оптических характеристик астрометрических радиоисточников OCARS 49

Малкин З.М.

Связь радио и оптической небесных систем отсчета 53

Нарижная Н.В.

Наблюдения галилеевых спутников Юпитера на Пулковском нормальном астрографе 59

Питьева Е.В.

Астрометрические наблюдения для построения планетных эфемерид 65

Рощина Е.А., Измайлов И.С., Киселева Т.П.

ПЗС-наблюдения спутников больших планет на 26-дюймовом рефракторе в Пулкове 71

Чубей М.С., Курпьянов В.В., Бахолдин А.В., Львов В.Н., Цекмейстер С.Д., Маркелов С.В., Левко Г.В.

Орбитальная Звездная Стереоскопическая Обсерватория — фундаментальные и прикладные задачи научной программы, сравнительные оценки проекта 77

Чуркин К.О., Нефедьев Ю.А. Создание базы наблюдений фотоэлектрических покрытий звезд Луной	83
--	----

Секция 2

Вращение Земли и геодинамика

Горшков В.Л., Мохнаткин А.В., Петров С.Д., Щербакова Н.В. Геодинамика Балтийского щита и Русской плиты по ГНСС-данным	91
Горшков В.Л., Щербакова Н.В. О согласованности скоростей станций с несколькими ГНСС-приёмниками	97
Зотов Л.В., Бизуар К., Шум С.К. О возможной взаимосвязи вращения Земли и изменений климата в последние 150 лет	103
Малкин З.М. О точности прогноза координат небесного полюса	109
Миллер Н.О. Долгопериодические закономерности движения полюса, полученные из ряда изменения широты Пулкова за 1840–2014	113
Миллер Н.О. Прогнозирование движения полюса с помощью ССА	119
Миллер Н.О., Воротков М.В. Моделирование чандлеровского движения полюса	125
Пасынок С.Л. Упрощённая форма уравнений гидродинамики для уточнения временной зависимости момента сил электромагнитного сцепления мантии и ядра Земли	131
Пасынок С.Л., Безменов И.В., Цыба Е.Н. Оперативное определение ПВЗ в ГМЦ ГСВЧ	137
Спирidonov Е.А., Виноградова О.Ю. Океанический нагрузочный эффект	143
Цуркис И.Я., Кучай М.С., Рыбин А.А. Применение спектра Винера-Лиувилля к анализу движения полюса и возмущающих функций атмосферы и океана	149
Цыба Е.Н., Пасынок С.Л. Определение параметров вращения Земли по результатам лазерной локации ИСЗ в ГМЦ ГСВЧ	155

Секция 3

**Эфемеридная астрономия, кинематика и динамика
Солнечной системы и экзопланетных систем**

Васильев М.В., Шуйгина Н.В., Язудина Э.И. Использование радиотехнических наблюдений посадочных аппаратов для уточнения эфемериды Луны	163
Виноградова Т.А. Оценка количества троянцев Юпитера	169
Девяткин А.В., Горшанов Д.Л., Львов В.Н., Цекмейстер С.Д., Башакова Е.А., Куприянов В.В., Русов С.А., Ляшенко А.Ю., Петрова С.Н., Мартюшева А.А., Наумов К.Н., Иванов А.В., Слесаренко В.Ю., Сокова И.А., Соков Е.Н., Зиновьев С.В., Мельников А.В., Ершов В.Н., Карашевич С.В. Результаты исследования ОСЗ	175
Довгалец И.С., Питъев Н.П. Оценка массы спутников по гравитационным возмущениям в кольцах Сатурна	183
Иванова Т.В. О построении аналитической теории вращения Луны в тригонометрической форме	189
Киселева Т.П., Васильева Т.А., Рощина Е.А., Измайлов И.С. Определение точных положений Сатурна и его спутников по оцифрованным астронегативам фотографических наблюдений 1972–1974 гг.	195
Кондратьев Б.П. О приливной силе внутри кольца Гаусса	201
Кузнецов В.Б. Определение орбиты по двум векторам положения методом продолжения по параметру с наилучшей параметризацией	207
Кузнецов В.Б., Майгурова Н.В., Медведев Ю.Д., Чернетенко Ю.А. Согласование опорной системы HCRF с динамической системой координат DE405 по наблюдениям астероидов	213
Кузнецов Э.Д., Захарова П.Е., Гламазда Д.В. Динамическая эволюция высокоорбитальных космических объектов в окрестности резонансов	219
Мельников А.В. Вековая динамика планеты в системе 16 Cyg	225
Павлов Д.А. Уточнение параметров орбиты и либрации Луны на основе модели DE430	229
Пашкевич В.В. Геодезическое вращение тел Солнечной системы, динамически согласованное с эфемеридой DE422/LE422	235
Перминов А.С., Кузнецов Э.Д. Построение осредненных уравнений движения планетной задачи методом Хори-Депри	241

Петров Н.А., Соколов Л.Л., Васильев А.А. О положениях областей, ведущих к соударениям астероида Апофис с Землей	247
Смирнов С.С. Карликовые планеты и резонансная структура Солнечной системы	253
Шор В.А., Вавилов Д.Е., Железнов Н.Б., Зайцев А.В., Кочетова О.М., Чернетенко Ю.А. Вычислительно-аналитический комплекс для прогнозирования столкновений астероидов и комет с Землей и построения сценариев вызванных ими катастроф	259

Секция 4

Звездная астрономия, кинематика и динамика Галактики

Ананьевская Ю.К., Горшанов Д.Л., Куприянов В.В. Исследование скопления NGC 6800 по наблюдениям на нормальном астрографе и телескопе МТМ-500М Пулковской обсерватории	267
Андреасян А.Р., Андреасян Р.Р., Паронян Г.М. О распределении пульсаров в Галактике	271
Жуйко С.В., Орлов В.В., Широкова К.С. Моделирование движения звезды в гравитационном поле двойной черной дыры	277
Кияева О.В., Орлов В.В., Жучков Р.Я. Исследование кратных звезд пулковской программы наблюдений на 26-дюймовом рефракторе	283
Романенко Л.Г. Является ли четверная иерархическая система 17 Лебеда гравитационно связанной?	289
Романенко Л.Г., Калиниченко О.А. Получение относительных положений широкой пары АF и собственных движений компонент четверной звезды 17 Суг	295

Секция 5

Новые методы и техника астрометрии и геодинамики

Биколова Д.А., Ершова А.П., Измайлов И.С., Ховричев М.Ю., Рощина Е.А., Оськина К.И., Баляев И.А., Шумилов А.А., Петюр В.В., Максимова Л.А., Апетян А.А., Куликова А.М. Астрометрические наблюдения на телескопе «Сатурн». Первые результаты	301
Измайлов И.С., Рощина Е.А. Оцифровка, измерения и калибровка астронегативов при помощи цифровой фотокамеры	307
Мохнаткин А.В., Петров С.Д., Горшков В.Л. Разложение скоростей пунктов по сферическим функциям	313

СОГЛАСОВАНИЕ ОПОРНОЙ СИСТЕМЫ ICRF С ДИНАМИЧЕСКОЙ СИСТЕМОЙ КООРДИНАТ DE405 ПО НАБЛЮДЕНИЯМ АСТЕРОИДОВ

Кузнецов В.Б.¹, Майгурова Н.В.², Медведев Ю.Д.¹, Чернетенко Ю.А.¹

¹Институт прикладной астрономии РАН, Санкт-Петербург, Россия

²Научно-исследовательский институт «Николаевская астрономическая обсерватория», Николаев, Украина

В ИПА РАН для подготовки материалов ежегодника «Эфемериды малых планет» выполнено уточнение орбитальных параметров 427 393 нумерованных астероидов. При этом использовано 111394 532 позиционных наблюдений этих тел. Работа выполнена в двух вариантах – без учета систематических ошибок каталогов в наблюдениях с 2001 г. и с этим учетом. По значениям $O-C$, полученным по исправленным наблюдениям, используя опорные каталоги USNO-A1.0, USNO-SA1.0, USNO-A2.0, UCAC-1, Tycho-2, GSC-1.1, USNO-B1.0, UCAC-4, UCAC-2, UCAC-3, 2MASS, вычислены параметры вращения опорной системы ICRF (каталога сравнения) относительно системы координат динамических эфемерид DE405 для нескольких вариантов решений. Значение ε_x составляет десятки *mas*, значения $\varepsilon_y, \varepsilon_z$ – несколько *mas*, смещение экватора – ~ 80 *mas*.

1. Введение

В настоящей работе для определения ориентации звездной системы координат относительно динамической используется следующий подход. Система координат опорного каталога определяется углами вращения (против часовой стрелки) относительно осей динамической системы координат

$$\varepsilon_{xt} = \varepsilon_x + \omega_x(t - t_0), \varepsilon_{yt} = \varepsilon_y + \omega_y(t - t_0), \varepsilon_{zt} = \varepsilon_z + \omega_z(t - t_0), \quad (1)$$

где $\varepsilon_x, \varepsilon_y, \varepsilon_z, \omega_x, \omega_y, \omega_z$ – начальные значения углов вращения и угловых скоростей вращения, соответственно. Для $O-C$ можно написать следующие соотношения:

$$\begin{aligned} \cos \delta \Delta \alpha &= \cos \alpha \sin \delta(\varepsilon_{xt}) + \sin \alpha \sin \delta(\varepsilon_{yt}) - \cos \delta(\varepsilon_{zt}), \\ \Delta \delta &= -\Delta D - \sin \alpha(\varepsilon_{xt}) + \cos \alpha(\varepsilon_{yt}), \end{aligned} \quad (2)$$

где ΔD – постоянная систематическая ошибка системы склонений каталога, не связанная с углами вращения.

В [1] параметры ориентации системы каталога Hipparcos относительно системы координат эфемерид DE405 были определены по 50464 оптическим наблюдениям 116 астероидов. В это число входили наблюдения избранных малых планет, приведенные на систему каталога Hipparcos с помощью депенденсов, наблюдения малых планет, полученные спутником Hipparcos, и наблюдения, выполненные на обсерваториях 673 и 689 в системе каталога АСТ (до 2007 г.). В [2] эти вычисления были повторены на большем наблюдательном интервале для тех же 116 астероидов и уже для 4-х динамических эфемерид: DE405, DE421, EPM-2008, EPM-2011 с использованием 141952 оптических наблюдений. Параметры ориентации определялись в результате совместного решения МНК относительно элементов орбит всех рассматриваемых астероидов и этих параметров. Сделан вывод о том, что рассогласование систем координат рассмотренных динамических эфемерид и каталога Hipparcos составляет несколько *mas*, а скоростей – меньше 1 *mas/год*.

В табл. 2 представлены результаты сравнения оптических (каталоги UCAC2, UCAC3, UCAC4) систем координат и ICRF по наблюдениям радиисточников, видимых в оптическом диапазоне. Необходимо отметить, что в работах [4] и [5] принято

отличное от (2) выражение для уравнения по $\Delta\delta$, а именно, для поправки экватора используется величина $+B_0$, тогда как в настоящей работе используется $-AD$.

Основные выводы из этих работ – 1) несогласование системы координат DE405 и Hipparcos составляет несколько *mas*. 2) оптические каталоги UCAC2, UCAC3 и UCAC4 не совпадают с ICRF также в пределах нескольких *mas*.

Таблица 1. Параметры ориентации системы каталога Hipparcos по отношению к координатным системам 4-х динамических эфемерид (углы – в *mas*, скорости – в *mas/год*). Эпоха J2000.0. В скобках приводится число возмущающих астероидов – (BA).

Параметры	Использовано 141952 оптических наблюдения 116 астероидов				
	DE405 (3 BA)	DE405 (304 BA)	DE421 (67BA)	EPH-2008 (3 BA)	EPH-2011 (3 BA)
ε_x	0.26 ± 1.06	0.46 ± 1.18	1.34 ± 1.15	1.22 ± 1.07	1.33 ± 1.07
ε_y	3.43 ± 1.22	6.97 ± 1.36	2.56 ± 1.31	2.90 ± 1.22	2.97 ± 1.22
ε_z	-0.22 ± 1.70	0.04 ± 1.89	-0.50 ± 1.82	-0.63 ± 1.71	-0.68 ± 1.71
ω_x	0.08 ± 0.06	0.17 ± 0.07	0.07 ± 0.06	0.06 ± 0.06	0.05 ± 0.06
ω_y	0.15 ± 0.08	0.68 ± 0.08	0.16 ± 0.08	0.17 ± 0.08	0.17 ± 0.08
ω_z	-0.43 ± 0.12	-0.80 ± 0.14	-0.51 ± 0.13	-0.57 ± 0.13	-0.56 ± 0.13

Таблица 2. Параметры вращения систем координат каталогов UCAC2, UCAC3, UCAC4 относительно ICRF (в *mas*). N_i – число объектов, включенных в решение.

Звездный каталог	ε_x	ε_y	ε_z	Смещение экватора, B_0	N_i	Работа
UCAC2	-0.2 ± 5.8	7.2 ± 5.5	7.0 ± 4.5	–	130	[3]
UCAC3	-0.1 ± 6.1	6.4 ± 5.8	-1.8 ± 2.4	–	152	[3]
UCAC2	-0.4 ± 3.2	3.5 ± 2.8	6.8 ± 2.3	–	302	[4]
UCAC2	3.8 ± 3.4	1.3 ± 2.8	6.8 ± 2.3	-14.0 ± 2.3	172	[4]
UCAC2	-1.0 ± 3.2	4.1 ± 2.8	6.8 ± 3.3	-3.9 ± 2.2	302	[4]
UCAC2	$+4.55 \pm 1.42$	-5.11 ± 1.32	$+7.78 \pm 1.20$	-5.14 ± 1.07	413	[5]
UCAC4	$+4.60 \pm 1.56$	-3.71 ± 1.44	$+3.92 \pm 1.37$	-3.60 ± 1.19	413	[5]

При наблюдениях астероидов используется гораздо большее число опорных каталогов. Поэтому представляет интерес вопрос о том, как с их использованием выполняется условие согласования динамической и звездной систем координат.

2. Вычисления

В настоящем исследовании был применен другой по сравнению с [1] и [2] подход к решению задачи, состоящий в том, что уточнение орбитальных параметров и определение параметров вращения выполнялось отдельно. Систематические ошибки звездных каталогов в наблюдениях, выполненных после 2001 г., стало возможным определять практически для каждого астероида. Это стало возможным с появлением работы [6], а также использованием при обработке наблюдений звездных каталогов, опирающихся на систему ICRF (реализация Tycho-2) и включающих слабые звезды. В этой работе в качестве каталога, относительно которого определяются ошибки остальных каталогов, принят каталог 2MASS.

Работа [7] 2014 г. выполнена на расширенном, по сравнению с работой [6], наборе каталогов. Авторы в качестве каталога сравнения выбирают часть звезд каталога PRMXL, которые используют положения 2MASS и имеют собственные движения. В отличие от работы [6] 2010 г., работа 2014 г. [7], кроме разностей положений, содержит разности собственных движений.

После учета систематических ошибок в наблюдениях по работе [7], для которых есть указание на опорный каталог, по 111 394 532 позиционным наблюдениям выполнено уточнение орбитальных параметров 427 393 нумерованных астероидов. Такие же вычисления проведены с использованием неисправленных за ошибки каталогов наблюдений. Эта работа регулярно выполняется в ИПА РАН для подготовки материалов ежегодника «Эфемериды малых планет». При выполнении улучшения орбит уравнения движения совместно с уравнениями в вариациях интегрируются методом Эверхарта 15-го порядка. Учитываются возмущения от всех больших планет, а также Плутона, Цереры, Паллады и Весты в соответствии с эфемеридами DE405. Возмущения от Земли и Луны рассматриваются отдельно. Учитываются также возмущения от сжатия Солнца и Земли.

Результаты уточнения орбитальных параметров получены для двух вариантов: без учета ошибок каталогов и с этим учетом. Соответствующие остаточные разности, О–С, для наблюдений с середины 2001 г. использованы для дальнейшего анализа и определения параметров рассогласования динамической системы координат и системы координат каталога сравнения.

Для уменьшения влияния систематических (возникающих из-за ошибок элементов астероидов) ΔC_i^2 и случайных ошибок χ_i^2 при вычислениях часть наблюдений отбраковывалась. Здесь $i = 1, \dots, n$, а n – число наблюдений. Процедура отбраковки была следующая. При улучшении орбит астероидов значения систематических ошибок ΔC_i^2 оценивались по элементам корреляционной матрицы для вычисленных прямых восхождений и склонений по формуле [8]:

$$C_{\alpha, \delta} = \sigma_0^2 A_i C_E A_i^T, \quad (3)$$

где σ_0 – среднеквадратическая ошибка наблюдений, A_i – матрица коэффициентов условных уравнений на момент t_i размером 2×6 , C_E – корреляционная матрица элементов E , индекс “ T ” обозначает транспонирование матрицы. Диагональные элементы матрицы $C_{\alpha, \delta}$ являются дисперсиями значений для вычисленных значений α и δ , т.е. величинами ΔC_i^2 . Мы исключали О–С, для которых значения дисперсии ошибок вычисленных положений были больше $0.09''$ ($C_i^2 > 0.09''$). Для уменьшения влияния случайной составляющей ошибки также исключались О–С, для которых выполняется условие

$$\chi_i^2 = (\alpha_i^o - \alpha_i^c)^2 \cos^2 \delta + (\delta_i^o - \delta_i^c)^2 > 5''.$$

3. Полученные результаты

В табл. 3 приводятся последовательно по столбцам номер каталога по порядку, название каталога, число наблюдений, средние значения по прямому восхождению, средние значения по склонению при решениях без учета систематических ошибок и те же значения для решений с учетом систематических ошибок. Название каталогов, для которых в наблюдениях учтены его систематические ошибки, выделены жирным шрифтом.

Необходимо иметь в виду, что в изменениях средних значений О–С в результате учета ошибок каталогов проявляются не только сами эти ошибки, но и изменения орбитальных параметров в результате исправления всех наблюдений за ошибки и других каталогов. Можно отметить, что для каталогов Tycho-2 и Hipparcos 2 значения О–С являются наименьшими, что и следовало ожидать.

Таблица 3. Средние значения $O-C$ для двух вариантов решений. N – число наблюдений. Названия каталогов, для которых выполнена редукция за систематические ошибки, выделены жирным шрифтом.

№ п/п	Каталог	Средние $O-C$, без учета поправок каталогов			Средние $O-C$, с учетом поправок каталогов		
		N	$O-C_\alpha$ (mas)	$O-C_\delta$ (mas)	N	$O-C_\alpha$ (mas)	$O-C_\delta$ (mas)
1	USNO-A1.0 (*)	1863277	-21.8	-21.4	1809824	22.9	32.0
2	USNO-SA1.0 (*)	295263	-22.4	-109.7	292586	23.8	-46.5
3	USNO-A2.0 (*)	36257114	85.3	294.8	35952276	43.8	79.2
4	USNO-SA2.0	1490471	-51.4	207.5	157940	-149.4	110.8
5	UCAC-1 (*)	457110	-4.4	-23.7	456987	29.6	-4.2
6	Tycho-2 (*)	375887	14.8	-0.8	374932	39.0	9.4
7	GSC-1.0	2283	-120.7	-18.7	2200	-83.4	8.4
8	GSC-1.1 (*)	548860	-162.2	-101.2	544862	-69.6	-86.4
9	GSC-1.2	14693	15.2	-23.3	14461	50.8	0.2
10	GSC-2.2	263	-366.1	14.7	259	-341.5	47.1
11	ACT	116816	-75.8	-12.1	116608	-26.6	-14.7
12	GSC-ACT	344771	-18.5	84.9	331371	1.6	17.8
13	SDSS-DR8	4140	61.7	-62.4	4137	76.5	-30.9
14	USNO-B1.0 (*)	12080295	-115.9	148.0	11977009	-64.3	52.6
15	PPM	35497	41.9	17.8	34429	145.1	105.2
16	UCAC-4 (*)	6236471	10.4	79.9	6147960	7.5	102.8
17	UCAC-2 (*)	26297335	-88.3	35.7	25923483	-59.6	48.4
18	USNO-B2.0	381	10.1	107.2	374	55.6	136.2
19	PPMXL	65571	21.5	-7.2	65289	25.2	10.7
20	UCAC-3 (*)	2119435	-34.00	73.2	2090259	-10.9	82.0
21	NOMAD	41318	-20.5	122.2	41066	31.9	42.3
22	CMC-14	335517	11.1	-23.4	329396	12.5	61.1
23	Hipparcos 2	87	-21.2	4.8	87	7.3	5.2
24	GSC	249137	-63.8	-63.7	238625	0.2	-35.6
25	AC	5518	-22.1	166.0	5281	71.8	174.2
26	SAO 1984	1201	277.2	-169.1	1175	324.8	-117.8
27	SAO	25478	-187.7	-208.6	24466	-66.0	-188.2
28	AGK 3	3578	-39.6	-32.6	3345	41.4	-11.7
29	ACRS	1360	-688.6	-43.8	1278	-518.0	-7.7
30	Lick Gaspra	221	-44.1	63.5	221	-14.6	20.2
31	Ida93Catalog	53	-76.4	-200.3	53	-37.9	-155.3
32	Perth 70	10	518.5	-105.0	10	443.7	-11.6
33	COSMOS/UKSTS	69	-25.8	-61.8	69	16.6	-40.2
34	Yale	33492	8.9	-678.3	32199	89.1	-582.2
35	2MASS (*)	12026378	53.4	72.8	11984643	50.5	71.0
36	GSC-2.3	40	249.9	-46.0	41	228.4	-23.5
37	SDSS-DR7	786817	34.9	-2.6	785974	31.3	56.5
38	SST-RC1	34	-55.9	-15.3	34	-49.4	38.7
39	MPOSC3	12387	7.8	-2.5	12307	48.7	52.5
40	CMC-15	292	29.1	13.8	291	42.0	66.9
41	SST-RC4	1849679	46.7	59.4	1840957	43.0	76.4

Далее был выполнен ряд решений МНК для определения рассогласования систем координат каталога сравнения и эфемерид DE405 в соответствии с (2). В решение включались О-С, наблюдения для которых (с середины 2001 г.) получены в системах 11-ти каталогов и приведены на систему каталога сравнения. Эти каталоги отмечены в табл. 3 значком (*). Решения получены для нескольких вариантов, для того чтобы оценить реальные ошибки полученных результатов. Результаты решений приводятся в табл. 4.

Таблица 4. Результаты определения параметров вращения и поправки экватора (углы – в *mas*, скорости – в *mas/год*). Эпоха J2000.0. N_{eq} – число условных уравнений.

	Без учета поправок каталогов			С учетом поправок каталогов			
	Без весов обсерваторий			С весами обсерваторий	Без весов обсерваторий		
ε_x	-38.79 ± 11	-87.37 ± 24	75.70 ± 12	-27.10 ± 10	-12.48 ± 10	-11.42 ± 21	33.54 ± 10
ε_y	-2.98 ± 09	-5.11 ± 18	2.12 ± 09	-3.46 ± 08	-3.63 ± 08	-7.13 ± 16	-1.34 ± 08
ε_z	-0.92 ± 07	33.18 ± 16	-1.37 ± 07	1.00 ± 07	-2.38 ± 06	15.97 ± 14	-2.58 ± 06
ω_x	–	6.37 ± 03	–	–	–	-0.14 ± 02	–
ω_y	–	0.28 ± 02	–	–	–	0.46 ± 02	–
ω_z	–	-4.47 ± 02	–	–	–	-2.40 ± 02	–
ΔD	–	–	-198.5 ± 1	–	–	–	-79.8 ± 1
σ_0	0.496	0.496	0.496	0.328	0.434	0.434	0.434
N_{eq}	103420172			101539946			

Обзор решений, приведенных в табл. 4, позволяет сделать следующие выводы. Все решения получены с высокой точностью, что можно объяснить большим количеством измерений, включенных в решения. Но это формальные ошибки. Реальная точность оцениваемых параметров составляет, по-видимому, несколько *mas*. Для всех вариантов близкие значения получены для параметра ε_y . Значения параметра ε_x заметно различаются для разных вариантов. Смещение экватора достаточно велико, примерно на порядок по абсолютной величине больше соответствующего значения, полученного в работах [4] и [5]. Для каталога сравнения получена заметная составляющая скорости ω_z , которая все же меньше по абсолютной величине, чем для варианта без учета систематических ошибок опорных каталогов. Но очевидно, что было бы желательно выполнить такую же работу, основываясь на учете систематических ошибок каталогов по работе [6].

4. Заключение

Получены величины рассогласования систем координат каталога сравнения и эфемерид DE405, которые составляют десятки *mas*. Различные варианты решения показывают, что ошибки этих параметров могут достигать нескольких *mas*. Можно отметить наличие заметного смещения экватора, которое, возможно, объясняется включением в общее решение наблюдений, основанных на каталогах USNO-A2.0 и USNO-B1.0. Как видно из табл. 3, для этих каталогов средние значения О-С по склонению превышают 100 *mas*.

Необходимо отметить, что в настоящей работе задачи уточнения орбитальных параметров астероидов и определения параметров ориентации разделены из-за большого количества астероидов. Это, безусловно, вносит некоторые ошибки в результаты наших вычислений из-за корреляции параметров ориентации и орбитальных параметров. Тем

более интересно, что полученные оценки для параметров рассогласования систем координат имеют тот же порядок, что и более корректные их значения, определенные в работах [3], [4] и [5].

Литература

1. Чернетенко Ю.А. Ориентация системы каталога Hipparcos по отношению к координатным системам эфемерид DE403/LE403 и DE405/LE405 на основе наблюдений астероидов // Письма в Астрон. журн. 2008. Том 34, № 4, С.266–270.
2. Кочетова О.М., Чернетенко Ю.А. Ориентация систем динамических эфемерид DE405 и DE421 относительно системы каталога Hipparcos // Труды ИПА РАН. 2013. Вып.27. С. 483–486.
3. Maigurova N., Martynov M., Pinigin G. Optical positions of ICRF sources using UCAC3 reference stars // Proceedings of the Journies 2010 “Systèmes de reference spatio-temporels” (JSR2010): New challenges for reference systems and numerical standards in astronomy, Observatoire de Paris, 20–22 September 2010, Edited by Nicole Capitaine, pp.121–124.
4. Aslan Z., Gumerov R., Jin W., Khamitov I., Maigurova N., Pinigin G., Tang Z., and Wang S. Optical counterpart positions of extragalactic radio sources and connecting optical and radio reference frames // Astronomy & Astrophysics. 2010. 510, A10.
5. Zacharias N. and Zacharias M.I. Radio-optical reference frame link using the U.S. Naval Observatory astrograph and deep CCD imaging // The Astron. Journal, 2014, V. 147:95, (18 pp.)
6. Chesley, S.R., Baer, J., Monet, D.G. Treatment of star catalog biases in asteroid astrometric observations // Icarus. 2010. V.210. P. 158–181.
7. Farnocchia D., S.R. Chesley, A.B. Chamberlin, D.J. Tholen Star catalog position and proper motion corrections in asteroid astrometry // Icarus. 2015. V. 245, P. 94–111.
8. Carpino M., Milani A., and Chesley S.R. Errors statistics of asteroid astrometric observations // Icarus. 2003. V. 166. P. 248–270.

AGREEMENT OF REFERENCE FRAME HCRF WITH RESPECT TO EPHEMERIDES DE405 AS OBTAINED FROM OBSERVATIONS OF ASTEROIDS

Kuznetsov V.B.¹, Maigurova N.V.², Medvedev Yu.D.¹, Chernetenko Yu.A.¹

¹IAA RAS, St. Petersburg, Russia

²Research Institute Nikolaev Astronomical Observatory, Nikolaev, Ukraine

The orbital parameters of 427 393 asteroids using 111 394 532 position observations were improved with accounting systematic errors of star catalogues [7] and without these corrections. The O-C values based on catalogues USNO-A1.0, USNO-SA1.0, USNO-A2.0, UCAC-1, Tycho-2, GSC-1.1, USNO-B1.0, UCAC-4, UCAC-2, UCAC-3, 2MASS were used for estimation of rotation parameters of the catalogue of comparison with respect to the ephemerides DE405. Value of ε_x is equal to dozens of *mas*, values of ε_y , ε_z are equal to several *mas*, the declination offset term is evaluated as ~ 80 *mas*.