РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК
ИНСТИТУТ ПРИКЛАДНОЙ АСТРОНОМИИ

На правах рукописи

ЯГУДИНА Элеонора Ивановна

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ ОРИЕНТАЦИИ ФУНДАМЕНТАЛЬНОГО КАТАЛОГА FK5 ИЗ ОПТИЧЕСКИХ И РАДАРНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ АСТЕРОИДОВ, СБЛИЖАЮЩИХСЯ С ЗЕМЛЕЙ

Специальность 01.03.01
Астрометрия и небесная механика

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико – математических наук

Санкт–Петербург
1997

Работа выполнена в Институте прикладной астрономии Российской академии наук (г. Санкт–Петербург).

Научный руководитель
доктор физико–математических наук
Г. А. Красинский

Официальные оппоненты:
доктор физико–математических наук
В. С. Губанов
кандидат физико–математических наук
В. В. Витязев

Ведущая организация: Институт теоретической астрономии Российской академии наук (ИТА РАН), г. Санкт–Петербург

Защита состоится " " марта 1997 года в час. мин. на заседании Диссертационного совета Д–200.06.01 по присуждению ученой степени кандидата физико–математических наук при Институте прикладной астрономии Российской академии наук по адресу: 197110, Санкт–Петербург, Ждановская ул., д. 8.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ИПА РАН.

Автореферат разослан " " февраля 1997 года.

Ученый секретарь
Диссертационного совета Д–200.06.01
д. ф.–м. н. А. Т. Байкова

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Проблема построения системы координат, как можно более близкой к инерциальной, представляет значительный интерес как для фундаментальной астрометрии, так и для разного рода прикладных задач. Принятая реализация этой системы — фундаментальный каталог FK5, построенный на старых оптических наблюдениях, уже не удовлетворяет современным требованиям к точности. Поэтому в настоящее время процедура построения инерциальной системы координат должна базироваться, в основном, на новых высокоточных наблюдениях. Так, в 1991 году Международный Астрономический Союз (МАС) рекомендовал принять в качестве основной системы отсчета внегалактическую систему, основанную на положениях специально выбранных радиоисточников, определенных из радиоинтерферометрических наблюдений с ошибкой порядка $\pm 0.001''$. В 1996 году закончилось построение нового высокоточного каталога звезд, известного под именем HIPPARCOS, где относительные положения звезд получены с такой же высокой точностью.

Формальное сопоставление точностей различных систем свидетельствует не в пользу FK5. Однако проблема состоит в том, что большинство современных астрометрических наблюдений выполнено и выполняется в оптическом диапазоне, что делает невозможной непосредственную привязку наблюдаемых объектов к любой самой точной радиотехнической системе. Ожидаемый на смену FK5 космический каталог HIPPARCOS также не снимает проблему, так как его собственная система привязана к системе FK5, причем с точностью всего лишь $0.01''$. Ясно поэтому, что проблема определения ориентации главной системы отсчета в астрономии должна будет решаться и в будущем, а методы ее решения будут совершенствоваться с увеличением точности наблюдений.

Таким образом, любое исследование фундаментального каталога, любая попытка исправить его ошибки остаются актуальными и в наши дни. Актуальной является и задача, поставленная в диссертации, определение элементов ориентации каталога FK5, тем более, что многие со-

временные наблюдения показывают, что нуль–пункт FK5 требует коррекции.

Целью работы является определение элементов ориентации фундаментального каталога FK5 на основе совместной обработки оптических и радарных наблюдений астероидов, сближающихся с Землей (АСЗ).

Научная новизна работы заключается в следующем:

1) впервые из совместной обработки оптических и радарных наблюдений астероидов, сближающихся с Землей, определены значения элементов ориентации фундаментального каталога FK5.

4) Впервые получены оценки степени влияния параметров орбит АСЗ и распределения наблюдений по орбите на ошибки определения элементов ориентации фундаментального каталога.

3) Надежно определены элементы орбит восьми астероидов, сближающихся с Землей, из совместной обработки их оптических и радарных наблюдений.

4) Определен диаметр АСЗ (4179) Toutatis.

5) Выполнено исследование непрецессионного движения равноденствия на основе результатов диссертации с привлечением старых и современных определений других авторов.

Практическая ценность работы:

1) определены значения элементов ориентации фундаментального каталога FK5: поправки равноденствия dA, движения равноденствия $d\dot{A}$ и поправки экватора dD.

2) Рассчитана эфемерида АСЗ (4179) Toutatis для международной наблюдательной кампании 1992 года.

3) Разработаны рекомендации для составления оптимальной программы наблюдений АСЗ с целью изучения ошибок фундаментального каталога.

Апробация работы. Основные результаты, полученные в диссертации докладывались на следующих конференциях:

- всесоюзное совещание "Компьютерные методы небесной механики", Санкт–Петербург, 24–26 ноября 1992 г.;
- международная конференция "Позиционная астрономия и небесная

механика", Валенсия, Испания, октябрь 1992 г.;

- всероссийская конференция (с международным участием) "Астероидная опасность–93", Санкт–Петербург, 25–27 мая 1993 г.;
- международная конференция "Астероиды, кометы, метеоры", Бельжерате, Италия, 14–16 июля 1993 г.;
- международная конференция "Динамика и астрометрия естественных и искусственных небесных тел", Познань, Польша, 13–17 сентября 1993 г.;
- Российская астрометрическая конференция, Ленинград, 4–8 октября 1993 г.;
- международная конференция "Позиционная астрономия и небесная механика", Куенка, Испания, 17–21 октября 1994 г.;
- Симпозиум МАС N 172 "Динамика, эфемериды и астрометрия в Солнечной Системе", Париж, Франция, 3–8 июля 1995 г.;
- Российская XXVI радиоастрометрическая конференция, Санкт–Петербург, 18–22 сентября 1995 г.;
- всероссийская конференция (с международным участием) "Компьютерные методы небесной механики–95", Санкт–Петербург, 17–20 октября 1995 г.;
- коллоквиум МАС N 165 "Динамика и астрометрия естественных и искусственных небесных тел", Познань, Польша, 1–5 июля 1996 г.;
- российская конференция "Современные проблемы и методы астрометрии и геодинамики", Санкт–Петербург, 23–27 сентября 1996 г.

Публикации. Основные результаты по теме диссертации опубликованы в 10 работах, 6 из которых написаны в соавторстве [1, 2, 3, 4, 5, 6]. В совместных работах автору принадлежат численное моделирование определения элементов ориентации фундаментального каталога, обработка оптических и радарных наблюдений шести из восьми АСЗ, определение элементов ориентации FK5.

На защиту выносятся:

1) новые значения элементов ориентации фундаментального каталога FK5: поправки равноденствия dA, движения равноденствия $d\dot{A}$ и поправки экватора dD;

2) новые значения элементов орбит восьми астероидов, сближаю-

щихся с Землей: (1862) Apollo, (1620) Geographos, (3908) 1980 PA, (4769) 1989 PB, (1566) Icarus, (1990) MF, (1627) Ivar, (4179) Toutatis;

3) новое значение диаметра АСЗ (4179) Toutatis;

4) методика совместной обработки оптических и радарных наблюдений астероидов, сближающихся с Землей, для определения их орбит и для изучения ошибок фундаментального каталога.

Объем и структура диссертации. Диссертация состоит из введения, трех глав и заключения, изложена на 119 страницах и включает 12 рисунков и 16 таблиц. Список литературы включает 124 наименования.

Во введении сформулирована основная задача диссертационной работы, определены пути ее решения, дана оценка полученных результатов и перечислены основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе рассматриваются основные вопросы построения инерциальной системы координат в астрономии, отмечается особая важность проблемы определения ориентации координатной системы и обсуждаются современное состояние и перспективы решения этой проблемы.

Вторая глава содержит описание астероидов, сближающихся с Землей, как основных объектов, рассматриваемых в диссертации. Здесь отмечаются особенности определения их орбит, дается характеристика наблюдательного материала, использованного в диссертации. Подробно описывается методика редукции наблюдений и вычисления орбит АСЗ. Во второй части главы обсуждаются полученные результаты: элементы орбит восьми АСЗ, а также оценка диаметра АСЗ (4179) Toutatis.

В третьей главе излагается методика определения элементов ориентации фундаментального каталога на основе совместной обработки оптических и радарных наблюдений АСЗ. Выводятся условные уравнения, выполняется численное моделирование с целью выбора наиболее подходящих объектов и определения условий их наблюдения, а также приводятся элементы ориентации FK5, полученные по данным оптических и радарных наблюдений восьми АСЗ. В конце главы дается подробное сравнение полученных результатов с результатами

других авторов, а также обсуждается проблема непрецессионного движения равноденствия.

В заключении перечислены основные результаты работы.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Эталонной системой отсчета в астрометрии в настоящее время является фундаментальный звездный каталог FK5. Многие исследования показывают, что нуль-пункт FK5 нуждается в коррекции по отношению к динамической системе отсчета. Задача определения величины соответствующей поправки остается актуальной и сейчас, в эпоху внедрения новой системы отсчета на внегалактических источниках и создания высокоточного оптического каталога HIPPARCOS.

Традиционно определение элементов ориентации фундаментального каталога, поправки равноденствия dA и поправки экватора dD опиралось на использование меридианных наблюдений Солнца и больших планет. В настоящее время поправка экватора наиболее уверенно определяется из фотографических наблюдений малых планет, что связано со слабой зависимостью точности определения поправки экватора от геометрии орбит и со слабой корреляцией между поправкой экватора и элементами орбит наблюдаемых объектов. Наблюдения малых планет широко использовались для определения поправки равноденствия фундаментальной системы FK4 при создании каталога FK5. Используются они и сейчас. Так, например, в программе "Избранные малые планеты", реализуемой в ИТА РАН, элементы ориентации фундаментального каталога FK5 и систематические ошибки опорных звездных каталогов определяются по фотографическим наблюдениям специально выбранных малых планет.

В последнее время в связи с увеличивающимся интересом к АСЗ появились ряды наблюдений этих объектов, выполненные методом радиолокации. АСЗ имеют определенные преимущества перед малыми планетами главного пояса: благодаря их близости к Земле элементы орбит и элементы ориентации фундаментального каталога могут быть

определены с большей точностью. Регулярные сближения с Землей делают АСЗ удобными целями для более точных радарных наблюдений по сравнению с оптическими наблюдениями. Уже лоцировалось более 60 малых планет, причем большую их часть составляют АСЗ.

В 1975 году В. Н. Бойко исследовала возможности совместной обработки оптических и радарных наблюдений малых планет для определения элементов ориентации фундаментального каталога на основе моделирования наблюдений десяти малых планет. Было показано, что включение радарных данных при соответствующем подборе малых планет уменьшает ошибки определяемых параметров ориентации фундаментального каталога в 3–4 раза.

В данной работе для определения ориентации фундаментального каталога FK5 впервые использованы результаты совместной обработки реальных оптических и радарных наблюдений восьми АСЗ.

Фотографические наблюдения АСЗ выбирались из каталога Центра Малых Планет в формате, поддерживаемом в ИТА РАН и адаптированном для использования в системе ЭРА. Наблюдения, выполнявшиеся по специальной программе во время сближения (4179) Toutatis с Землей в 1992 году, получены непосредственно от наблюдателей через сотрудников ИТА РАН. Эти наблюдения были предварительно переведены нами на систему FK5 по процедуре, принятой Комиссией 20 МАС. Индивидуальные поправки координат опорных звезд при этом не учитывались. Радарные наблюдения были взяты, главным образом, из публикаций. Радарные наблюдения АСЗ (4179) Toutatis были любезно присланы нам Dr. Yeomans (JPL).

Основная информация о наблюдениях, использованных нами для определения поправок нуль–пункта FK5 АСЗ, приведена в Таблице 1. В столбце "тип наблюдений" приняты сокращенные обозначения: "оптика" для фотографических наблюдений, "задержка" для времени запаздывания сигнала и "допплер" для допплеровского сдвига частоты. Оценки точности радарных наблюдений взяты из публикаций. Для всех фотографических наблюдений принята единая оценка, равная $1''$.

Таблица 1. Наблюдения АСЗ, использованные в работе

Объект	Тип наблюдений	Период набл.	Кол-во набл.	Точность
(1862) Apollo	оптика	1973–89	99	1″
	задержка	1980	8	20 мкс
	допплер	1980	4	2 Гц
(4179) Toutatis	оптика	1934–93	440	1″
	задержка	1992	34	10 мкс
	допплер	1992	21	1 Гц
(1620) Geographos	оптика	1949–94	620	1″
	задержка	1983–94	3	(1.13-30) мкс
	допплер	1983–94	4	(0.2-5) Гц
(3908) 1980 PA	оптика	1980–88	100	1″
	задержка	1988	6	(1-20) мкс
	допплер	1988	1	1 Гц
(4769) 1989 PB	оптика	1989–90	89	1″
	задержка	1989	6	(2-10) мкс
	допплер	1989	6	(2-8) Гц
(1990) MF	оптика	1990	55	1″
	задержка	1990	6	(1-10) мкс
	допплер	1990	10	(1-5) Гц
(1627) Ivar	оптика	1952–90	335	1″
	задержка	1985	1	16 мкс
	допплер	1985	1	6 Гц
(1566) Icarus	оптика	1949–87	714	1″
	допплер	1968	9	(0.3-4) Гц

Вычисления производились в два этапа. На первом этапе на основе всей совокупности радарных и оптических наблюдений вычислялись орбиты АСЗ. Затем из совместной обработки наблюдений всех астероидов определялись элементы ориентации FK5 и окончательно уточнялись их орбиты.

1. Определения орбит АСЗ из обработки оптических и радарных наблюдений

Все расчеты выполнены с помощью вычислительной системы ЭРА (Эфемеридные Расчеты в Астрономии), созданной в ИПА РАН и поддерживающей стандарты IERS. Измеряемые величины, а именно, прямые восхождения α и склонения δ, определенные из оптических наблюдений, время запаздывания сигнала τ и допплеровский сдвиг частоты ν, определенные из радарных наблюдений, использованы в условных уравнениях для определения параметров орбиты. Эфемеридные положения объекта вычислены методом численного интегрирования релятивистских гелиоцентрических уравнений движения АСЗ с учетом возмущений от всех больших планет и шварцшильдовских членов, обусловленных притяжением Солнца. Интегрирование произведено методом Эверхарта 15 порядка. Для вычисления координат возмущающих планет и Луны использованы эфемериды DE200/LE200. Все расчеты выполнены в барицентрической координатной системе J2000.0. Изохронные производные вычислялись методом численного интегрирования уравнений в вариациях вместе с интегрированием уравнения движения.

Из решения системы условных уравнений методом наименьших квадратов получались поправки к начальным координатам и скоростям АСЗ. Уточненные параметры использовались для повторного решения той же системы уравнений. Итерации повторялись до тех пор, пока оцениваемые поправки не становились достаточно малыми (меньше, чем одна десятая соответствующей средней квадратической ошибки). Окончательные результаты приведены в Таблице 2.

Таблица 2. Уточненные координаты и скорости АСЗ, использованных для определения поправок нуль-пункта каталога FK5

Объект, эпоха	Координаты км	Скорости м/с
(1862) Apollo 1992 06 27.0 TDB	$x = 296785937 \pm 21$ $y = 126936307 \pm 104$ $z = 91193257 \pm 150$	$\dot{x} = -3342.0357 \pm 18$ $\dot{y} = -11789.5308 \pm 2$ $\dot{z} = -6177.8219 \pm 36$
(1620) Geographos 1992 06 27.0 TDB	$x = 15855641 \pm 12$ $y = 198398050 \pm 20$ $z = 144692768 \pm 28$	$\dot{x} = -19041.5120 \pm 3$ $\dot{y} = 425.0033 \pm 9$ $\dot{z} = -1781.5771 \pm 11$
(3908) 1980 PA 1992 06 27.0 TDB	$x = -397140795 \pm 21$ $y = -53527761 \pm 119$ $z = -39071534 \pm 51$	$\dot{x} = -1249.7315 \pm 41$ $\dot{y} = -12882.1409 \pm 7$ $\dot{z} = -5557.0269 \pm 20$
(4769) 1989 PB 1992 06 27.0 TDB	$x = -52098325 \pm 1095$ $y = -192183232 \pm 375$ $z = -119876191 \pm 151$	$\dot{x} = 16159.4118 \pm 397$ $\dot{y} = -6451.8344 \pm 1308$ $\dot{z} = -2204.7645 \pm 820$
(1566) Icarus 1992 06 27.0 TDB	$x = 150046934 \pm 91$ $y = -192091577 \pm 107$ $z = -155781974 \pm 101$	$\dot{x} = 4932.0262 \pm 24$ $\dot{y} = 8261.3082 \pm 62$ $\dot{z} = 1434.0641 \pm 42$
(1990) MF 1991 12 10.0 TDB	$x = -342387244 \pm 705$ $y = 141010846 \pm 3395$ $z = 50410295 \pm 1365$	$\dot{x} = -3429.1529 \pm 1606$ $\dot{y} = -12798.0738 \pm 1185$ $\dot{z} = -5191.0510 \pm 454$
(1627) Ivar 1992 06 27.0 TDB	$x = -315393290 \pm 45$ $y = 67438204 \pm 109$ $z = 56988560 \pm 48$	$\dot{x} = 2146.5661 \pm 58$ $\dot{y} = -17236.6022 \pm 20$ $\dot{z} = -5719.4955 \pm 26$
(4179) Toutatis 1992 06 27.0 TDB	$x = 106213403 \pm 26$ $y = -246322103 \pm 9$ $z = -106112165 \pm 12$	$\dot{x} = 12093.8431 \pm 18$ $\dot{y} = 18883.3461 \pm 9$ $\dot{z} = 7993.4258 \pm 11$

Вычисления подтвердили, что добавление даже небольшого числа радарных наблюдений существенно увеличивает точность определения орбит. Этот вывод иллюстрирует Таблица 3, в которой приведены средние квадратические ошибки орбитальных элементов АСЗ (4179) Toutatis, полученных как из совместной обработки радарных и оптических наблюдений, так и из оптических наблюдений.

Таблица 3. Средние квадратические ошибки орбитальных элементов АСЗ (4179) Toutatis

Орбитальные элементы	Оптика + Радар $''$	Оптика $''$
$\Delta a/a$	0.0005	0.0018
$\sin\iota\cos\Omega$	0.0092	0.0121
$\sin\iota\sin\Omega$	0.0421	0.0509
$e\sin\pi$	0.0228	0.0405
$e\cos\pi$	0.0176	0.0520
λ	0.0377	0.0644

Достаточно большое количество имеющихся радарных наблюдений позволило включить в число определяемых параметров также диаметр АСЗ (4179) Toutatis, что улучшило решение приблизительно на 7%. Значение диаметра Toutatis ((4.6 ± 5.1)), несмотря на большую ошибку, хорошо согласуется с результатами других авторов.

2. Определение элементов ориентации FK5 из совместной обработки оптических и радарных наблюдений АСЗ

Для выяснения зависимости точности определения элементов ориентации от параметров орбиты АСЗ и распределения наблюдений по орбите было выполнено численное моделирование на материале "фиктивных астероидов". Было рассмотрено несколько вариантов, построенных для различных распределений наблюдений по орбите и для

различных орбит. Во всех случаях моделировались как совместная обработка оптических и радарных наблюдений, так и обработка только оптических наблюдений. Моделирование заключалось в составлении условных уравнений вида

$$
\begin{aligned}
d\alpha &= \sum_{k=1}^{6} \frac{d\alpha}{dP_k} dP_k + (\operatorname{ctg}\epsilon + \operatorname{tg}\delta \sin\alpha)\sin\varepsilon\, dL - dA - \Delta T\, d\dot{A}, \\
d\delta &= \sum_{k=1}^{6} \frac{d\delta}{dP_k} dP_k - dD + \cos\alpha \sin\varepsilon dL, \\
d\tau &= \sum_{k=1}^{6} \frac{d\tau}{dP_k} dP_k, \\
d\nu &= \sum_{k=1}^{6} \frac{d\nu}{dP_k} dP_k.
\end{aligned}
\tag{1}
$$

В уравнения входят десять неизвестных: 6 параметров орбиты астероида на стандартную эпоху ($dP_k,\ k = 1, \ldots, 6$), поправка к средней долготе Солнца (Земли) dL и три элемента ориентации фундаментального каталога, а именно, поправка равноденствия dA, ее вековая вариация $d\dot{A}$ и поправка экватора dD. Последние четыре неизвестные включались только в уравнения, соответствующие оптическим наблюдениям.

Анализ результатов моделирования показал, что в результате совместной обработки радарных и оптических наблюдений АСЗ можно определить элементы ориентации фундаментального каталога с высокой точностью, если наблюдениями охвачена достаточно большая дуга орбиты (при этом желательно наблюдать АСЗ не только при их сближениях с Землей). Оказалось также, что корреляция между неизвестными dA и dL остается большой при всех сценариях, а значит, определение обоих неизвестных из общего решения вряд ли возможно.

На основании результатов моделирования из всей совокупности наблюдательных данных были выбраны восемь АСЗ с наилучшей наблюдательной историей (Таблица 1). Эти данные и были использованы для определения элементов ориентации FK5 путем решения уравнений вида (1). Получено несколько вариантов решений для отдельных

АСЗ и их комбинаций. Сравнение этих вариантов между собой показало устойчивость решения. Окончательные результаты приведены в Таблице 4. Из таблицы видно, что величины dA, $d\dot{A}$ и dD определяются достаточно надежно, включение же в число определяемых неизвестных поправки к средней долготе Земли dL ухудшает решение (4–ый вариант). Поэтому в качестве окончательного принято решение, приведенное в третьей строке Таблицы 4.

Таблица 4. Поправки нуль-пункта FK5.
Общее решение по наблюдениям восьми АСЗ

Вариант	$dA('')$	$d\dot{A}(''/\text{сут})$	$dD('')$	$dL('')$
1	0.227 ± 0.045			
2	0.127 ± 0.057	-0.6 ± 0.3		
3	0.126 ± 0.057	-0.6 ± 0.3	0.057 ± 0.037	
4	0.451 ± 0.177	-0.6 ± 0.3	0.053 ± 0.039	-0.131 ± 0.067

На Рисунке 1 показаны результаты определения элементов ориентации фундаментального каталога FK5 вместе с результатами других авторов, полученными по фотографическим наблюдениям малых планет, наблюдениям больших планет и наблюдениям покрытий звезд Луною. Кружочками отмечены значения dA и dD, а линиями — их производные. Как видно из рисунка, наши оценки всех параметров не выпадают из общего ряда. В целом, разброс приводимых значений параметров довольно велик, что свидетельствует о значительных систематических ошибках, свойственных существующей технике наблюдений и методам обработки. Ясно, тем не менее, что нуль-пункт FK5 нуждается в коррекции. Следует отметить, что результат настоящей работы не уступает результатам других авторов и при этом получен на меньшем наблюдательном материале, что подтверждает эффективность примененного метода.

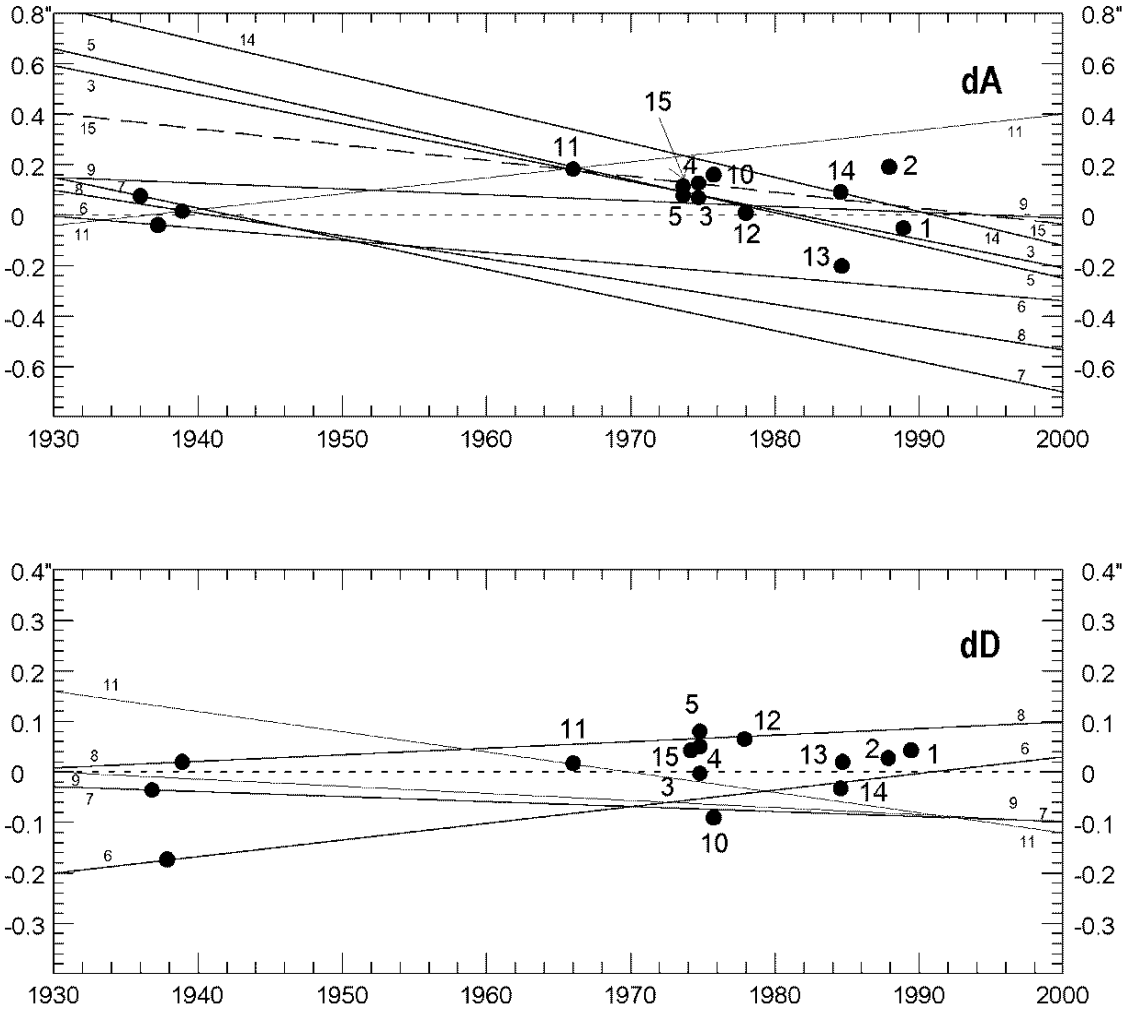

Рис. 1. Поправки экватора и равноденствия каталога FK5.
1 – Viateau, 1995, обс. Бордо; 2 – Viateau, 1995, обс. Ла Пальма (малые планеты); 3 – Колесник, 1995 (Солнце); 4 – Колесник, 1995 (Меркурий); 5 – Колесник, 1995 (Венера); 6 – Yao, Smith, 1993 (Солнце); 7 – Yao, Smith, 1993 (Меркурий); 8 – Yao, Smith, 1993 (Венера); 9 – Jordi, Rossello, 1987 (лунные покрытия); 10 – Branham, Sanguin, 1992 (малые планеты); 11 – Branham, Sanguin, 1994 (малые планеты); 12 – Батраков и др., 1996 (малые планеты); 13 – Чернетенко и Батраков, 1996 (малые планеты); 14 – Poppe, Leister, 1996 (Солнце); 15 – настоящая работа.

Было выполнено также сравнение всех доступных результатов по определению элементов ориентации фундаментальных каталогов с целью анализа непрецессионного движения равноденствия. К сожалению, недостаточная точность наблюдений не позволяет пока сделать обоснованные выводы о природе этого явления. Можно утверждать лишь, что непрецессионное движение равноденствия было, скорее всего, неправильно учтено при создании каталога FK5. Очевидно,

необходимо продолжать наблюдения тел Солнечной системы, привлекая новые высокоточные методы наблюдений.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основными результатами работы являются следующие:

1. Впервые радарные наблюдения астероидов, сближающихся с Землей, использованы совместно с оптическими для определения ошибок фундаментального каталога. Разработана методика и получены числовые значения определяемых параметров.

2. Определены поправки к равноденствию и экватору фундаментального каталога FK5:

$$dA = 0.127'' \pm 0.057''$$

$$dD = 0.057'' \pm 0.037''$$

$$d\dot{A} = (-0.60 \pm 0.30)''/$$

Эти значения находятся в хорошем согласии с результатами других авторов, полученными на другом наблюдательном материале.

3. Определены параметры орбит восьми астероидов (Таблица 2). По элементам одного из них (АСЗ (4179) Toutatis) вычислена эфемерида для его лоцирования в ходе международной наблюдательной кампании 1992 года. Для АСЗ Toutatis определено также значение его диаметра, равное 4.5 ± 5.1 км. Полученные нами оценки согласуются с определениями других авторов.

4. Показано, что добавление даже небольшого количества радарных наблюдений АСЗ к рядам фотографических наблюдений этих объектов существенно увеличивает точность определения их орбит, а также параметров ориентации фундаментального каталога, что позволяет извлекать значимые результаты из меньшего объема наблюдений, чем это требуется при использовании только традиционных фотографических наблюдений. Сами результаты получаются при этом более достоверными, так как комбинирование наблюдений разных типов уменьшает влияние неучитываемых систематических ошибок наблюдений.

5. Показано, что при организации целенаправленных наблюдений даже одного АСЗ на определенных участках его орбиты можно рассчитывать на значительное увеличение точности по сравнению с результатами, полученными в настоящей работе.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ДИССЕРТАЦИИ ОПУБЛИКОВАНЫ В СЛЕДУЮЩИХ РАБОТАХ:

1. Орбита (4179) Toutatis из оптических и радарных наблюдений. — Тезисы докладов конференции "Астероидная опасность–93", Санкт–

Петербург, 1993, с. 15–16. (Соавторы: Кривова Н. В., Шор В. А.)

2. Orbit determination of asteroids Apollo and Toutatis by optical and radar data. — Proceedings of the Second International Workshop on Positional Astronomy and Celestial mechanics, Valencia, October 19–22, 1992, (A. Lopez et al., Eds.), 1993, p. 129–140. (Соавторы: Krivova N. V., Shor V. A.)

3. Catalogue corrections determined from combined radar and optical data of minor planets. — Proceedings of the Conference "Dynamics and Astrometry of Natural and Artificial Celestial bodies", Poznan, Poland, September 13–17, 1993, (K. Kurzynska et al., Eds.), 1994, p. 79–82. (Соавтор: Krivova N. V.)

4. The orbit determination of (4179) Toutatis from optical and radar data. — Planet. Space Sci., v. 42, No. 9, 1994, p. 741–745. (Соавторы: Krivova N. V., Shor V. A.)

5. (4179) Toutatis orbit determination from optical and radar data. — Proceedings of the Conference "Dynamics and Astrometry of Natural and Artificial Celestial bodies", Poznan, Poland, September 13–17, 1993, (K. Kurzynska et al., Eds.), 1994, p. 287–292. (Соавторы: Krivova N. V., Shor V. A.)

6. The FK5 equinox and equator from combined radar and optical data of the near-Earth asteroids. — Proceedings of the IAU Symposium 172, "Dynamics, Ephemerides and Astrometry of the Solar System", Paris, July 3–8, 1995, (S. Ferraz–Mello et al., Eds.), 1996, p. 469–474. (Соавтор: Shuygina N. V.)

7. Использование астероидов, сближающихся с Землей, для определения поправок нуль-пункта фундаментального каталога: численное моделирование. — Тезисы докладов Всероссийской конференции: "Компьютерные методы небесной механики–95", Санкт–Петербург, 1995, с. 199–201.

8. Использование оптических и радарных наблюдений астероидов, сближающихся с Землей, для определения поправок нуль–пункта фундаментального каталога FK5. — Тезисы докладов конференции "Современные проблемы и методы астрометрии и геодинамики", Санкт–Петербург, 1996, с. 86.

9. Равноденствие и экватор FK5 из радарных и оптических наблюдений астероидов, сближающихся с Землей. — Тезисы докладов XXVI радиоастрометрической конференции, Санкт–Петербург, 1995, с. 335–336.

10. Использование оптических и радарных наблюдений астероидов, сближающихся с Землей, для определения поправок нуль–пункта фундаментального каталога FK5. — Сообщение ИПА РАН, N 91, 1996, 32 с.

РТП ЛИЯФ, зак. , тир. 120, уч.–изд. л.
Бесплатно