

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК

**ИЗВЕСТИЯ
ГЛАВНОЙ
АСТРОНОМИЧЕСКОЙ
ОБСЕРВАТОРИИ
В ПУЛКОВЕ**

№ 220

**Труды
Всероссийской астрометрической конференции
«ПУЛКОВО – 2012»**

Санкт-Петербург
2013

Редакционная коллегия:

Доктор физ.-мат. наук **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**
кандидат 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**
доктор физ.-мат. наук **Е.В. Хруцкая**

Зав. редакцией **Е.Л. Терёхина**

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

**ИЗВЕСТИЯ
ГЛАВНОЙ АСТРОНОМИЧЕСКОЙ ОБСЕРВАТОРИИ
В ПУЛКОВЕ
№ 220
Труды Всероссийской астрометрической конференции
«Пулково – 2012»**

Утверждено к печати
Главной (Пулковской) астрономической обсерваторией РАН

Компьютерная верстка оригинал-макета Е.Л. Терёхиной

ISBN 978-5-9651-0699-8

© Главная (Пулковская) астрономическая обсерватория РАН, 2013

КАТАЛОГ 231043 ЗВЕЗД ДЛЯ ПОЗИЦИОННЫХ НАБЛЮДЕНИЙ ВНЕГАЛАКТИЧЕСКИХ РАДИОИСТОЧНИКОВ

**Рыльков В.П.¹, Нарижная Н.В.¹, Дементьева А.А.¹,
Пинигин Г.И.², Майгурова Н.В.²**

¹Главная (Пулковская) Астрономическая Обсерватория РАН,
Россия, 196140, Санкт-Петербург, Пулковское шоссе, 65/1, ГАО РАН,
vrylk1145@yandex.ru

²НИИ «Николаевская Астрономическая Обсерватория» НАН Украины,
Украина, 54030, Николаев, ул. Обсерваторская, 1,
pinigin@mao.nikolaev.ua

Для выполнения астрометрических редуций ПЗС-наблюдений внегалактических радиосточников (ERS) списка ICRF создан сводный каталог положений более чем 230000 звезд в диапазоне блеска от 10 до 17^m. Каталог содержит 240 полей небесной сферы размером 40' — 42' с центрами в ERS в области склонений от -30° до +89°. Для 159332 звезд при получении средних положений использовались собственные движения из каталога UCAC3. Положения этих звезд приводятся в каталоге на эпоху и равноденствие J2000.0, координаты остальных даны на эпоху наблюдения.

С 1998 г. в качестве основной реализации международной астрономической небесной опорной системы координат принят каталог ICRF (International Celestial Reference Frame) положений избранных компактных внегалактических радиосточников (ERS, [1]). Через систему звезд, радиозвезд и доступных наблюдениям ERS оптическая астрометрическая система HCRF, образованная наблюдениями космического аппарата Hipparcos, привязана к ICRF. Для связи опорных систем астрономических координат в оптическом и радио диапазонах требуется наблюдение общих объектов, что является одной из самых важных задач наземной и космической позиционной астрометрии. Малая яркость основного списка ERS требует для решения данной задачи наличия мощных телескопов, оснащенных высокочувствительными ПЗС-приемниками, имеющими сейчас, как правило, малое поле зрения. Для определения положений оптических компонентов ERS необходимо иметь высокоточную систему слабых опорных звезд (хотя бы до 16-17^m), расположенную в непосредственной близости вокруг внегалактических радиосточников. Кроме того, получение координат слабых звезд позволяет создать астрометрические стандарты (поля слабых звезд с высокоточными координатами и собственными движениями) для использования их в качестве реперов в будущих космических астрометрических миссиях.

К настоящему времени выполнено довольно много работ по определению положений звезд в областях вокруг ERS списка ICRF. Основное назначение подобных каталогов – получение с их использованием положений оптических компонентов ERS с астрометрической точностью без многоступенчатой привязки при астрометрической редуции от более ярких опорных звезд к слабым радиосточникам. В наших работах по созданию сводного каталога [2-4] приводятся довольно подробные описания всех каталогов, вошедших в сборку сводного. Цель работы – увеличение плотности и повышение точности положений опорных звезд путем создания сводного каталога звезд 10— 17^m вокруг ERS списка ICRF путем объединения нескольких существующих наземных оптических каталогов.

Входные каталоги

В нашем распоряжении накопилось 11 оригинальных позиционных каталогов звезд, полученных в последние годы. Некоторые из этих каталогов основаны на проведенных ранее фотографических наблюдениях, другие – уже в последние десятилетия – на специальных наблюдениях с ПЗС-приемниками для получения высокоточной опорной системы координат из звезд 13-18^m. Из них можно выбрать звезды специально для будущих ПЗС-наблюдений слабых астрометрических ERS, образующих фундаментальную систему координат ICRF. Из этих каталогов 9 мы использовали для объединения в сводный, а каталог USNO UCAC3 был использован только для сравнения и выборки собственных движений звезд, чтобы привести их положения в разных каталогах на одну эпоху при усреднении. Список входных каталогов и их основные характеристики приведены в табл. 1.

Таблица 1. Каталоги, входящие в сводный каталог опорных звезд.

Место наблюдения	Имя каталога	Тип наблюдений	Размер поля, ' ,	Число полей	Число звезд в выборке	Эпоха наблюдений	Звездные величины
Пулково	Pul ERS	Фото	42x42	35	5139	1991-1995	10-17
Николаев	AMC1B	CCD	60x24	192	6539	1996-1998	12-15
Бухарест	PIRS-B	Фото	60x60	188	7395	1991-2000	12-16
Киев ГУ	PIRS-K	Фото	60x60	1115	2875	1989-1993	12-15
Николаев	N_2004	CCD	60x24	208	17074	1999-2003	10-17
Киев	KMAC1-CU	CCD	46x24	192	115000	1999-2004	12-17
N&S Obs	ERL	Фото	60x24	398	89422	1976-1991	12-14
La Palma	CMC14	CCD	60x60	206	310409	1989-2005	10-17
La Palma	CMC9	-	-	240	5155	1984-1995	9-15,4
Для выборки собственных движений звезд для выравнивания эпох наблюдений и присвоения звездных величин привлечены каталоги:							
USNO	UCAC3	CCD		240	882314	1995-2006	9-17
	XC1	Scan Ph	60x60	255	856421		< 19

Из исходных каталогов сделаны выборки звезд в пределах размеров поля до 40', после чего были исключены объекты с большими расхождениями в положениях. Поскольку все рассматриваемые каталоги имеют разную точность, им были назначены веса при включении в сводный каталог. На данном этапе в качестве значений весов было принято указанное число наблюдений каждой звезды, независимо от приемника излучения.

Сводный каталог

По аналогии с созданием фундаментальных каталогов серии FK было решено объединить выше перечисленные каталоги, полученные приблизительно в одни и те же эпохи наблюдений. Поскольку каталоги наблюдались на разных инструментах и разными методами регистрации изображения в разные эпохи, было необходимо получить разности координат одних и тех же звезд, входящих в каталоги, на предмет выявления случайных и систематических ошибок в положениях звезд. При исследовании разностей для значительной части звезд необходимые для решения этой задачи собственные движения звезд после их отождествления были взяты из каталога UCAC3.

Объединение каталогов в сводный проводилось по следующим принципам:

1. Поиск звезд в разных каталогах по совпадению координат в 3" и объединение всех найденных звезд в общий список отождествления.

2. Поиск и присвоение собственных движений из UCAC3 для звезд списка, а для наиболее слабых звезд, не найденных в UCAC3, в каталоге XC1.

3. Вычисление координат на общую эпоху и усреднение с весами, равными кратности наблюдений звезды в исходных каталогах.

4. Поиск и исключение из общего списка звезд с большими отклонениями ($>0,5''$) от средних значений вычисляемых положений.

5. При отсутствии собственных движений звездам присваивались координаты наиболее поздних наблюдений, собственные движения по RA и DE кодировались 9999.99 mas/год.

Путем взаимного отождествления и выявления совпадающих звезд для 240 областей звезд вблизи ERS были усреднены и включены в сводный каталог положения 159332 звезд имеющих собственные движения в UCAC3, а также положения 71711 звезд, полученные из объединяемых каталогов, либо не имеющие собственных движений, либо взятых из объединяемых каталогов. Для усреднения все координаты звезд, которые имеют собственные движения, переведены на эпоху и равноденствие J2000. Для них сделано сравнение с положениями звезд в каталоге UCAC3 и вычислены сравнительные характеристики. Аналогичное отождествление выявило 5604 ярких звезд $11-12^m$, совпадающих с координатами каталога Tycho-2. Для остальных более 70 тысяч звезд в каталоге приведены положения либо самых поздних наблюдений, либо они усреднялись на среднюю эпоху, если наблюдались в разных каталогах с разностью эпох не более 1,5 лет.

Таким образом, для 240 прямоугольных полей размером до $40-42'$ вокруг внегалактических радиоисточников списка ICRF получен каталог положений 231043 звезд до $16,9^m$.

Отметим, что количество K^* звезд, содержащееся в отдельных полях вокруг ERS, находится в пределах от 3 до 323 (в среднем 91 звезда в поле). Распределение звезд по звездным величинам приведено на рис. 1.

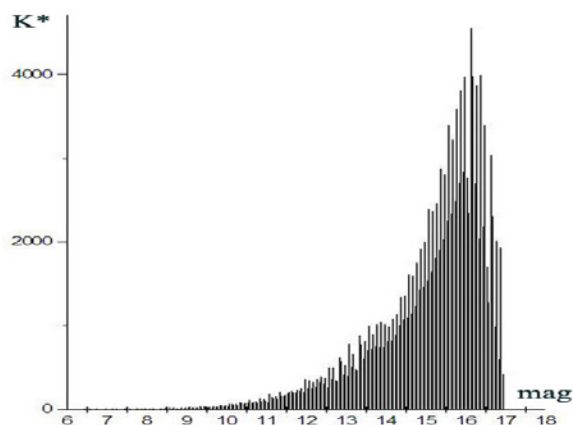


Рис. 1. Распределение числа звезд в сводном каталоге по звездным величинам.

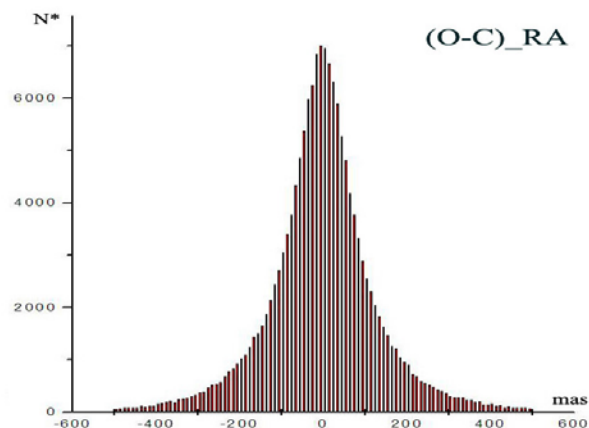


Рис. 2. Гистограмма разностей (O-C) в RA для 159332 звезд Кат – UCAC3.

Сравнение 159332 звезд, отождествленных со звездами каталога UCAC3, показало, что распределение звезд по звездным величинам носит практически экспоненциальный характер и обрывается на уровне $16,9^m$ в силу ограничения нами предельной звездной величины (рис. 1). Из гистограммы с очевидностью следует, что основная масса звезд нашего каталога находится в диапазоне от 14 до 17^m . Кроме величин, взятых из UCAC3, для остальных 70 тысяч звезд это бессистемные оценочные значения из разных входных каталогов.

Формат сводного каталога

Существующая на сегодня исследуемая версия сводного каталога содержит 231043 строк информации, длина файла 32 146 646 байт.

Позиции сводного каталога:

- 1-10 – номер звезды по каталогу;
- 12-18 – звездная величина, если она есть (по UCAC3 или получена наблюдателем);
- 20-32 – прямое восхождение в градусах на эпоху наблюдений в ICRS на J2000.0;
- 34-39 – ошибка среднего значения прямого восхождения в 0.001";
- 41-43 – количество наблюдений по прямому восхождению;
- 45-53 – эпоха прямого восхождения, год.доля года (гггг.ххх);
- 55-67 – склонение в градусах на эпоху наблюдений в ICRS для равноденствия J2000.0;
- 69-74 – ошибка среднего значения склонения в 0.001";
- 76-78 – количество наблюдений, использованных для получения склонения;
- 80-88 – эпоха склонения, год.доля года(гггг.ххх);
- 90-100 – прямое восхождение звезды в целом формате ЧЧММССДД (J2000);
- 102-111 – склонение звезды в целом формате ±ГГММССДД (J2000);
- 113-119 – собственное движение по прямому восхождению mas/yr*(cos δ) из UCAC3;
- 121-127 – собственное движение по склонению mas/yr из UCAC3.

Исследование каталога

Внутренняя точность координат звезд при усреднении положений сводного каталога составляет в среднем 0,044" по прямому восхождению и 0,11" по склонению для всех 231043 звезд. Полученные индивидуальные каталоги звезд для каждого поля с центром в ERS необходимо исследовать на ошибки путем сравнения хотя бы с двумя независимо полученными каталогами. Из современных каталогов, содержащих достаточное количество звезд, для сравнения выбраны два:

- Tycho-2 – каталог, полученный при переработке наблюдений космической миссии Hipparcos, включающий положения более чем 2 млн. звезд до 12^m по всему небу.
- UCAC3 – каталог, содержащий положения более чем 100 млн. звезд и, в некотором смысле, тоже являющийся сводным. По этой причине он не используется в нашем объединении. Каталог включает звезды до 17^m, распределенные по склонению от –90 до +90°.

Таким образом, проведено сравнение с каталогом Tycho-2, и полученным на его основе современным каталогом 21-го века UCAC3. Учитывая, что средние эпохи наблюдений звезд нашего сводного каталога находятся как раз между ними, получена оценка точности почти от равноудаленных по эпохам двух современных каталогов.

В настоящее время индивидуальные ошибки каждого из 240 полей вблизи ERS не исследовались. С каталогами UCAC3 и «Tycho-2» последовательно сравнивался полный сводный каталог. Сравнение проводилось путем вычисления отклонений между нашими значениями средних координат и значениями в соответствующих каталогах для общих звезд. Результаты получены в виде гистограмм разностей (O-C) в прямом восхождении (рис. 2) и склонении. Графики зависимостей (O-C) от звездной величины, а также при изменении прямого восхождения или склонения представлены на рис. 3-4.

Гистограмма разностей (O-C) по совпадающим звездам с UCAC3 показывает нормальный закон распределения со значениями до 200mas, причем основной диапазон изменений от -100 до +100 mas (рис. 2). Практически совершенно идентичная гистограмма с такими же характеристиками представляет отклонения (O-C) в DE.

Значения разностей (O-C), вычисленные для звезд сводного каталога с использованием собственных движений каталога UCAC3 относительно координат в UCAC3, имеют следующие характеристики:

- распределение разностей (O-C) по прямому восхождению и склонению следует нормальному закону, разброс значений отклонений от UCAC3 в основном до 100 mas,
- среднее значение (O-C) по прямому восхождению практически равно нулю: 4.6mas, ошибка среднего составляет +0.35mas, что говорит о том, что систематическая составляющая по прямому восхождению практически отсутствует.
- среднее значение (O-C) по склонению равно 8.4mas с ошибкой среднего +0.34mas, что говорит о наличии незначительной систематической составляющей по склонению на уровне 0.008". Эти числа характеризуют точность сводного каталога относительно UCAC3

Приведенные графики разностей (O-C) по совпадающим звездам с UCAC3 на рис. 3-4 характеризуют в основном неудовлетворительное знание собственных движений слабых звезд. Значения разностей растут при увеличении звездной величины от 14 до 17^m почти втрое, как в RA, так и в DE, достигая для звезд 16-17^m (рис. 3) величин до 200-300 mas. Практически такие же разности показывают в зависимости от RA и от DE.

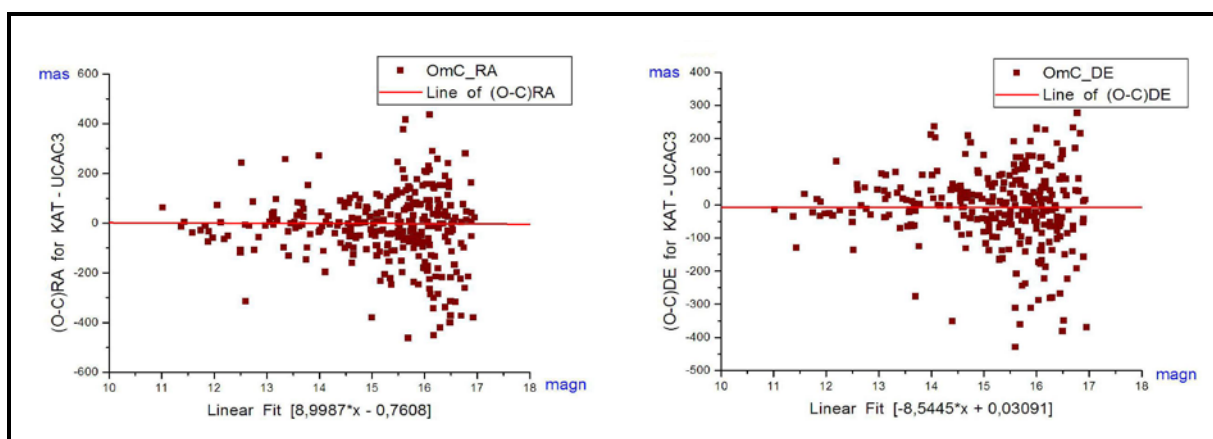


Рис. 3. Разности (O-C) в RA и в DE относительно координат в UCAC3, вычисленные для 159332 совпадающих звезд на эпоху J2000.0 в зависимости от зв. величины.

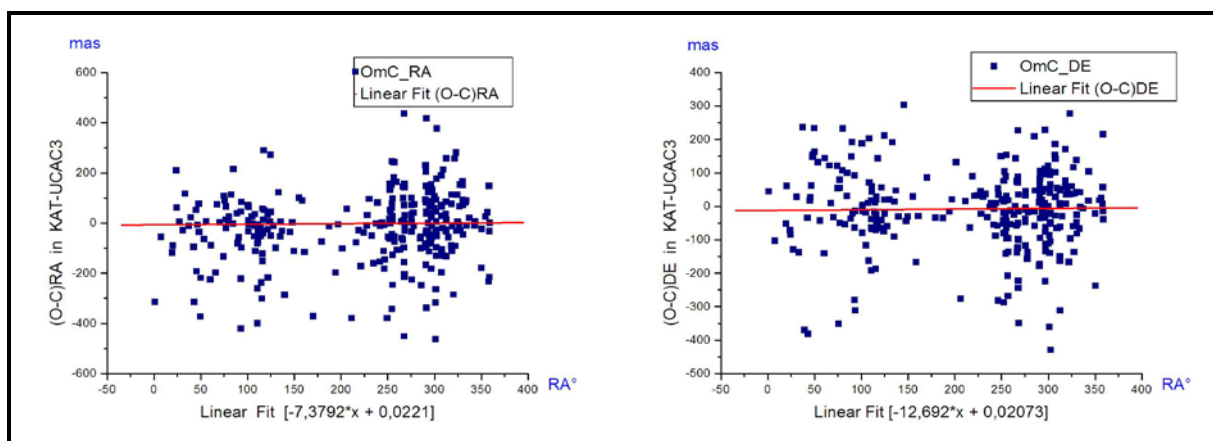


Рис. 4. Разности (O-C) в RA и в DE относительно координат в UCAC3, вычисленные для 159332 совпадающих звезд на эпоху J2000.0 в зависимости от RA.

Все это лишний раз подтверждает насущность задачи по определению положений и собственных движений звезд слабее 12^m. А это потребует не только точных определений координат, но и большой разности эпох для получения собственных движений слабых звезд, что, возможно, не смогут обеспечить кратковременные космические миссии. Кроме того, для полученных в космосе точных координат миллионов слабых звезд при

вычислении их собственных движений в качестве первой эпохи необходимо будет привлекать единственный на сегодня космический каталог Tycho-2 (всего лишь на 2,5 млн. звезд до 12^m) или земные каталоги «миллионники», создаваемые в USNO типа UCAC2-4, отягощенные негативным влиянием земной атмосферы. Земные высокоточные наблюдения слабых звезд должны помогать решению этой проблемы путем накопления результатов позиционных наблюдений с необходимой для решения этой задачи точностью.

Аналогичные характеристики получены по совпадающим с каталогом «Tycho-2» ярким звездам 9-12^m. Таких совпадающих звезд нашлось всего 5604. Картина изменений (O-C) в зависимости от RA, DE близка к показанным на рис. 4 для UCAC3.

Несмотря на то, что появление таких астрометрических обзоров неба, как UCAC2-UCAC4, CMC14 и других, на сегодняшний день позволяет иметь достаточно плотную систему опорных звезд с высокой точностью положений, привлечение дополнительных наблюдательных данных может оказаться полезным для исследования и повышения точности определения собственных движений звезд. Это диктует необходимость периодических наблюдений и уточнения положений звезд в каталогах, используемых в качестве опорных при получении оптических координат радиоисточников списка ICRF. В этом заключается основная цель наблюдений полей звезд вблизи ERS. Только имея высокоточную систему слабых опорных звезд, можно получать точные координаты оптических компонентов ERS ICRS для контроля связи оптических и радио систем координат и отслеживать динамику вращения астрометрических систем как земных, так и космических относительно ICRS.

Заключение

Сводный каталог имеет необходимые позиционные данные для контроля оптических наблюдений слабых звезд 10 — 17^m в будущих космических проектах и представляет собой один из проектов наземного обеспечения при подготовке космических миссий таких, например, как GAIA и SIM. При повторении наблюдений областей вокруг ERS, которые определяют опорную систему ICRS, избранные площадки с более точными координатами слабых звезд могут использоваться в дальнейшем в качестве астрометрических стандартов.

Литература

1. *Ma C., Arias E.F., Eubanks T.M., et al.*, The International Celestial Reference Frame as Realized by Very Long Baseline Interferometry, *Astron. J.*, 1998, v.116, pp. 516-546.
2. *Babenco Y., Daniltsev A., Pinigin G., Ryl'kov V., et al.*, Reduction of Compiled Catalogue in the Selected Extragalactic Radio Source Fields. Preliminary Estimation, *Romanian Astronomical Journal*, 2003, vol.13, № 1, pp. 77-81.
3. *Ryl'kov V., Dement'eva A., Narizhnaya N., et al.* Compiled Catalogue of Reference Stars around Extragalactic Radio Sources, Reduction Techniques and the First Results, *Kinematics and Physics of Celestial Bodies, Supl.Ser.*, 2005, № 5, pp. 328- 332
4. *Рыльков В.П., Нарижная Н.В., Деметтьева А.А., Пинигин Г.А. и др.* Сводный каталог положений звезд вокруг 227 внегалактических радиоисточников списка ICRF, *Кинематика и физика небесных тел.*, 2011, т.27, № 6, pp. 44-51.