

УДК 521.91

В. В. Тельнюк-Адамчук, А. А. Молотай, И. И. Кумкова

**Определение углов взаимной ориентации
систем отсчета VLBI и FK5
по наблюдениям внегалактических компактных
радиоисточников и галактических радиозвезд**

В Астрономической обсерватории Киевского университета собраны радио- и оптические наблюдения внегалактических компактных радиоисточников, а также галактических радиозвезд. По данным примерно для 300 объектов определены углы взаимной ориентации систем отсчета VLBI и FK5, положение экватора FK5, получены региональные разности положений. Для совмещения системы FK5 с VLBI первую следует повернуть вокруг осей X, Y и Z последовательно на углы $+0.00 \pm 0.03''$, $+0.07 \pm 0.03''$ и $+0.02 \pm 0.02''$. Экватор FK5 смещен к югу от экватора VLBI на величину $0.03 \pm 0.02''$.

ВИЗНАЧЕННЯ КУТІВ ВЗАЄМНОЇ ОРІЄНТАЦІЇ СИСТЕМ ВІДЛІКУ VLBI ТА FK5 ЗА СПОСТЕРЕЖЕННЯМИ ПОЗАГАЛАКТИЧНИХ КОМПАКТНИХ РАДІОДЖЕРЕЛ І ГАЛАКТИЧНИХ РАДІОЗІР, Тельнюк-Адамчук В. В., Молотай О. А., Кумкова І. І. — В Астрономічній обсерваторії Київського університету зібрані оптичні та радіоспостереження позагалактичних компактних радіоджерел, а також галактичних радіозір. За даними приблизно для 300 об'єктів визначено кути взаємної орієнтації систем відліку VLBI та FK5, одержано регіональні різниці положень. Для суміщення системи FK5 з VLBI першу слід повернути навколо осей X, Y і Z послідовно на кути $+0.00 \pm 0.03''$, $+0.07 \pm 0.03''$ і $+0.02 \pm 0.02''$. Екватор FK5 зміщений на південь від екватора VLBI на величину $0.03 \pm 0.02''$.

THE VLBI AND FK5 REFERENCE FRAMES: MUTUAL ORIENTATION ANGLES OBTAINED USING THE POSITIONS OF EXTRAGALACTIC COMPACT RADIO SOURCES AND GALACTIC RADIO STARS, by Tel'nyuk-Adamchuk V. V., Molotaj A. A., Kumkova I. I.— Optical and radiointerferometric positions of extragalactic compact radio sources and galactic radio stars have been compiled in the Kiev University observatory. These data for nearly three hundred objects have been used to determine angles of mutual orientation between the VLBI and FK5 reference frames, and regional differences in positions were obtained. To bring the FK5 and radio frames into match, FK5 should be turned around the X, Y, and Z axes by $+0.00 \pm 0.03''$, $+0.07 \pm 0.03''$ and $+0.02 \pm 0.02''$, respectively. It is found that the FK5 equator is displaced by $0.03 \pm 0.02''$ to the south with respect to that of VLBI.

К настоящему времени усилиями нескольких групп наблюдателей получено значительное число радиоинтерферометрических и оптических положений радиозвезд и компактных радиоисточников. Координаты радиозвезд хорошо известны по оптическим наблюдениям, но недостаточно — по радиоинтер-

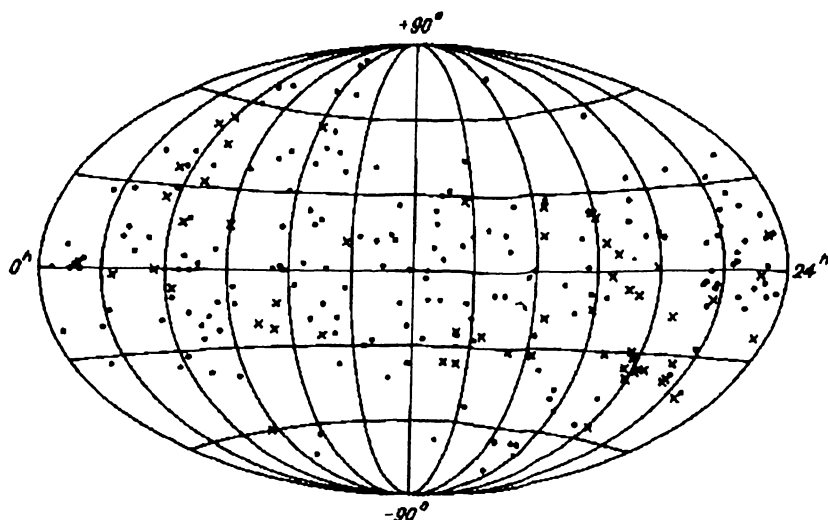


Рис. 1. Распределение 59 радиозвезд (косые крестики) и 192 внегалактических радиоисточников (точки) на небесной сфере в экваториальной системе координат

ферометрическим. Причем оптические наблюдения, как правило, получены строгими методами меридианной астрономии, поэтому они хорошо представляют оптическую систему. Положения радиоисточников, наоборот, лучше определены по радионаблюдениям, чем по оптическим. Оптические наблюдения большинства слабых радиоисточников выполнены методами фотографической астрометрии в системе опорных каталогов AGK3, Perth, SAOC и других с использованием промежуточных систем опорных звезд, что не может не сказаться на качестве привязки их к фундаментальной системе отсчета. (По этой причине в рамках программы CONFOR, выполняемой обсерваториями нескольких стран [9], особое внимание уделяется созданию списков звезд промежуточных систем и их наблюдательному обеспечению). Радиоположения же источников определены с погрешностью $0.001''$, что значительно лучше точности их оптических положений и фундаментальной системы отсчета. Для внегалактических радиоисточников созданы сводные каталоги VLBI-положений. Оценки параметров взаимной ориентации на основе сравнения радио- и оптических положений проводились с 1980 г. по мере накопления данных наблюдений [2, 8, 10, 11].

Настоящая работа выполнена на основе собранных из доступных публикаций данных, содержащих радио- и оптические положения компактных внегалактических радиоисточников и галактических радиозвезд. База данных содержит 65 радиозвезд и 203 радиоисточника, для которых известны как радио-, так и оптические положения с погрешностью не более $0.7''$. Имеющийся материал, в первую очередь оптические наблюдения внегалактических источников, неоднороден в отношении случайных и особенно систематических ошибок. Последнее связано со спецификой фотографических наблюдений и переносом региональных ошибок положений опорных звезд на определяемые положения объектов, разнообразием методов реду-

ции и инструментов, используемых для получения координат. Около четверти оптических положений внегалактических радиоисточников основаны на единичных, часто весьма неточных наблюдениях. Распределение использованных радиозвезд и радиоисточников на небе показано на рис.1.

Взаимную ориентацию систем VLBI и FK5 можно описать тремя малыми углами i_1, i_2, i_3 поворота одной из них вокруг осей X, Y, Z до совмещения с осями другой системы. Первые две оси лежат в плоскости экватора и направлены в точки с прямым восхождением 0^h и 6^h , а ось Z направлена в точку со склонением $+90^\circ$. В модель связи введен также параметр параллельного смещения экватора i_4 . Этот параметр не описывает ориентацию, а предполагает неортогональность систем и будет использоваться для оценки положения экватора фундаментальной системы. Будем считать, что поворот осей системы FK5 на положительные углы i_1, i_2, i_3 по часовой стрелке совместит ее с осями VLBI; угол i_4 будет положительным, если экватор FK5 смещен к северу от экватора VLBI. Тогда модель может быть представлена в виде:

$$\begin{pmatrix} \Delta\alpha \cos \delta \\ \Delta\delta \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -\cos \alpha \sin \delta & -\sin \alpha \cos \delta & \cos \delta & 0 \\ \sin \alpha & -\cos \alpha & 0 & 1 \end{pmatrix} \cdot (i_1, i_2, i_3, i_4)^T.$$

Здесь α и δ — прямые восхождения и склонения объектов, $\Delta\alpha \cos \delta$ и $\Delta\delta$ — разности их координат в смысле «радио- минус оптические», а T — знак транспонирования. Большинство радиоположений внегалактических источников взяты из каталога [14], часть — из индивидуальных каталогов. Информация, составляющая базу данных приведена в работах [3, 4]. Различие систем каталогов радиоположений не принималось во внимание, так как оно невелико по сравнению с ошибками фундаментальной системы. Разности для внегалактических источников получены без редуций за разность эпох наблюдений. Для радиозвезд по оптическим наблюдениям получены собственные движения [2], с помощью которых оптические наблюдения приведены к эпохе радионаблюдений, после чего образованы разности координат. Поскольку оптические наблюдения отнесены в основном к системе FK4, они были переведены от эпохи B1950.0 к эпохе J2000.0 с учетом региональных поправок, заданных в аналитической форме [7] по алгоритму [5].

По крайней мере 70 % модулей разностей $\Delta\alpha \cos \delta$ и $\Delta\delta$ не превышают $0.3''$. Часть источников с разностями более $1''$ была исключена из обработки. Методом наименьших квадратов получены решения отдельно для α и δ , комбинированные решения одновременно для обеих координат, по галактическим и внегалактическим объектам, а также по всей их совокупности с разными значениями весов первых и вторых. В таблице приведены решения с равными весами (обозначены звездочкой) и решения с весами положений радиозвезд и внегалактических источников в отношении 4:1.

Углы взаимной ориентации i_1, i_2, i_3 и разность положений экваторов i_4 систем отсчета VLBI и FK5, полученные из наблюдений радиозвезд (RS) и внегалактических радиоисточников (ERS) (в единицах $0.01''$)

Объекты	i_1	i_2	i_3	i_4	$\Delta\alpha \cos \delta$	$\Delta\delta$	σ_α	σ_δ	Количество объектов
RS	-4 ± 5	$+8 \pm 6$	$+2 \pm 5$	-4 ± 4	$+4$	-5	33	38	59
ERS	$+6 \pm 4$	$+6 \pm 3$	-0 ± 3	-2 ± 3	-0	-2	37	37	192
RS+ERS	$+0 \pm 3$	$+7 \pm 3$	$+2 \pm 2$	-3 ± 2	$+1$	-3	36	37	251
(RS+ERS)*	$+4 \pm 3$	$+6 \pm 3$	$+1 \pm 3$	-2 ± 2	$+1$	-3	36	37	251

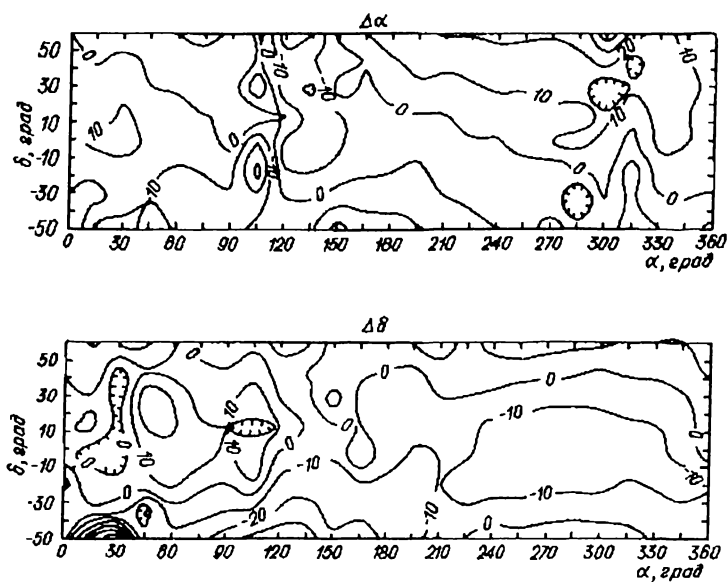


Рис. 2. Поля систематических разностей $\Delta\alpha \cos \delta$ и $\Delta\delta$. Изолинии — в единицах 0.01"

Остаточные разности, полученные после исключения поворота осей и смещения экватора, разложены на базе, задаваемой произведениями функций Эрмита, Лагранжа и Фурье, в соответствии с алгоритмом, сходным с приведенными в [13]. Низкие начальные максимальные степени разложений (0, 2 и 3 соответственно для звездной величины, δ и α) связаны с небольшим количеством данных. С вероятностью 90 % значимыми оказались 5 коэффициентов разложений (проекций на ортогональный базис).

В заключение отметим следующее. 1. Экватор FK5 смещен к югу от экватора VLBI на $0.03 \pm 0.02''$. Учитывая высокую точность определения склонений абсолютным способом при радиоинтерферометрических наблюдениях, эту величину следует рассматривать как реальное смещение экватора FK5, что подтверждается обработкой наблюдений тел Солнечной системы [1, 6]. 2. Значение угла i_2 поворота вокруг оси Y, который вместе с i_3 характеризует наклон экватора FK5, может свидетельствовать о наличии ошибок вида $\Delta\delta_\alpha$ в FK5. 3. Поля систематических разностей (рис. 2) следует рассматривать как весьма грубые. Оценки их ошибок (0.10 — $0.15''$) отражают невысокое качество и малое количество исходного материала. 4. Для получения надежных выводов следует увеличить объем и точность оптических наблюдений внегалактических объектов, чему будет способствовать успешное завершение программы CONFOR [9] и большой программы зарубежных астрономов в радио- и оптической области [12]. Весьма желательным является также распространение радионаблюдений на большее число радиозвезд. При выполнении этих условий можно уменьшить ошибку определения угловых параметров связи систем отсчета VLBI и FK5 до 0.010 — $0.005''$.

1. Орельская В. И. Поправки к нуль-пунктам фундаментального каталога FK4 // Письма в Астрон. журн.—1980.—6, № 6.—С. 318—320.
2. Тельнюк-Адамчук В. В., Дума Д. П., Свидинович А. Г. Визначення кутів взаємної орієнтації систем відліку в оптичному та радіодіапазонах з аналізу оптичних та радіоастрономічних положень зірок // Кинематика и физика небес. тел.—1991.—7, № 4.—С. 81—87.
3. Тельнюк-Адамчук В. В., Кривдик В. Г. Радио и оптические положения звезд. База данных. — Киев, 1991.—15 с.—Деп. в УкрНИИНТИ 13.12.91, № 1590—Ук91.

4. Тельнюк-Адамчук В. В., Кривдик В. Г., Пасичник С. В. Радіо і оптичні положення позагалактичних радіоджерел, які використовуються у фундаментальній астрометрії. База даних. — Київ, 1991.—32 с.—Деп. в УкрНДІНТІ 13.12.91, № 1591—Ук91.
5. Aoki S., Soma M., Kinoshita H., Inoue K. Conversion matrix of epoch B1950.0 FK4-based positions of stars to epoch J2000.0 positions in accordance with the new IAU resolution // *Astron. and Astrophys.*—1983.—128, N 1.—P. 263—267.
6. Devyatkin A. V., Gnevysheva K. G. Equator and ecliptic FK5 positions on the basis of Sun and planets observations by the Ertel — Struve vertical circle at Kislovodsk mount station // *Inertial coordinate system on the sky: Proc. IAU Symp. N 141, Leningrad, 17—21 October, 1989* / Eds J. H. Lieske, V. K. Abalakin. — Dordrecht: Kluwer, 1990.—P. 87.
7. Fricke W., Schwan H., Lederle T., et al. Fifth fundamental catalogue (FK5) // *Veröff. Astron. Rechen-Inst. Heidelberg.*—1988.—N 32.—106 p.
8. Gubanov V. S., Kumkova I. I., Solina N. I. The FK4 orientation parameters derived from photographic and VLBI observations of radio/optical objects // *Inertial coordinate system on the sky: Proc. IAU Symp. N 141, Leningrad, 17—21 October, 1989* / Eds J. H. Lieske, V. K. Abalakin. — Dordrecht: Kluwer, 1990.—P. 85—86.
9. Gubanov V. S., Kumkova I. I., Tel'nyuk-Adamchuk V.V. CONFOR: a new program for determining the connection between radio and optical reference frames // *Ibid.*—P. 75—76.
10. Kumkova I. I. An attempt to compare the radio astronomical system of coordinates of quasars with FK4 // *Reference coordinate system for Earth dynamics: Proc. IAU Coll. N 56, Warsaw, 8—12 September, 1980* / Eds E. M. Gaposchkin, B. Kolaczek. — Dordrecht: Reidel, 1980.—P. 369—373.
11. Morrison L. V., Arquile R. V., Requiere Y., Mazurier J.M. Comparison of optical and radio positions of stars // *Astron. and Astrophys.*—1990.—236, N 1.—P. 256—260.
12. Russel J. L., Johnston K. J., de Vegt Ch., et al. A progress report on the establishment of the radio/optical reference frame // *Inertial coordinate system on the sky: Proc. IAU Symp. N 141, Leningrad, 17—21 October, 1989* / Eds J. H. Lieske, V. K. Abalakin. — Dordrecht: Kluwer, 1990.—P. 281—284.
13. Schwan H. A computer program for evaluating the analytical representation of the systematic differences between the FK4 and the FK5 or other catalogues of star positions and proper motions // *Astron. and Astrophys.*—1988.—198, N 1/2.—P. 363—364.
14. Walter H. G. Celestial frame based on extragalactic radio sources // *Astron. and Astrophys. Suppl. Ser.*—1989.—79, N 2.—P. 283—289.

Астрономическая обсерватория
Киевского университета им. Т. Г. Шевченко,

Поступила в редакцию
11.12.91

Институт прикладной астрономии,
Санкт-Петербург

Научные конференции

СИМПОЗИУМ МАС № 156 «РАЗВИТИЕ АСТРОМЕТРИИ И ЕГО ВЛИЯНИЕ НА АСТРОФИЗИКУ И ГЕОДИНАМИКУ»

Состоится в сентябре 1992 г. в Шанхае (Китай).

Научная программа: развитие методов измерения и обработки данных; оптическая и радиоинтерферометрия; радио- и лазерная локация, космическая астрометрия, астрометрия пульсаров; воздействие на астрофизику (двойные системы и определение масс, уточнение диаграмм Г—Р); воздействие на геофизику (точные определения орбит, движение земной коры, изменение среднего уровня моря, быстрые изменения скорости вращения Земли); построение инерциальной системы отсчета (связь различных систем); внеатмосферные и наземные наблюдения.