

УДК 521.96

С. Л. Болотін, С. О. Литвин

Головна астрономічна обсерваторія Національної академії наук України
03680 Київ, вул. Академіка Заболотного 27
e-mail: bolotin@mao.kiev.ua

**Порівняння об'єднаних каталогів
RSC(GAOUA)05 C 03 та RSC(PUL)06 C 02 з реалізацією
Міжнародної небесної системи відліку ICRF**

Одним із шляхів удосконалення нової реалізації Міжнародної небесної системи відліку є створення об'єднаних каталогів положень радіоджерел. Пропонується новий метод обчислення зовнішніх похибок каталогів радіоджерел та коефіцієнтів їхньої кореляції. Порівнюються об'єднані каталоги радіоджерел, створені в ГАО НАНУ та ГАО РАН, між собою та з реалізацією Міжнародної небесної системи відліку.

СПРАВНЕНИЕ СВОДНЫХ КАТАЛОГОВ RSC(GAOUA)05 C 03 И RSC(PUL)06 C 02 С РЕАЛИЗАЦИЕЙ МЕЖДУНАРОДНОЙ НЕБЕСНОЙ СИСТЕМЫ ОТСЧЕТА ICRF, Болотин С. Л., Литвин С. О. — Одним из путей усовершенствования новой реализации Международной небесной системы отсчета есть создание сводных каталогов положений радиоисточников. Предлагается новый метод вычисления внешних ошибок каталогов радиоисточников и коэффициентов их корреляции. Проведено сравнение сводных каталогов радиоисточников, созданных в ГАО НАНУ и ГАО РАН, между собой и с реализацией Международной небесной системы отсчета.

COMPARISON OF THE COMBINED CATALOGUES RSC(GAOUA)05 C 03 AND RSC(PUL)06 C 02 WITH THE CURRENT REALIZATION OF THE INTERNATIONAL CELESTIAL REFERENCE FRAME (ICRF), by Bolotin S. L., Lytvyn S. O. — At present a new realization of the International Celestial Reference Frame is being prepared. One of the aspects of improving the forthcoming realization is the compilation of combined catalogues of radio sources. We proposed a new method for calculation of ex-

ternal uncertainties of catalogues of radio sources and correlation coefficients. A comparison of the combined catalogues created at MAO NASU with ones compiled at CAO RAS and with the current realization of the International Celestial Reference Frame is performed.

ВСТУП

Рухи небесних тіл описуються у системах координат, орієнтація яких фіксується за допомогою набору положень певних опорних об'єктів. Цей набір координат небесних опорних об'єктів задає небесну систему відліку. Зараз для побудови небесної системи відліку вибираються дуже віддалені позагалактичні джерела радіовипромінювання (РД), власні рухи яких дуже малі.

На сьогодні лише метод радіоінтерферометрії з наддовгими базами (РНДБ) дозволяє визначати положення РД з високою точністю — до 100 мксд (мікросекунд дуги). Такі спостереження проводяться в основному у S- та X-смугах радіодіапазону (2.1—2.6 та 8.1—8.9 ГГц).

Вся інформація про положення РД подається у вигляді каталогів, які за способом побудови поділяються на індивідуальні та об'єднані. В індивідуальних каталогах положення РД отримуються за результатами обробки РНДБ-спостережень окремими центрами аналізу. Об'єднані каталоги створюються шляхом певної комбінації із кількох індивідуальних. Вважається, що побудова об'єднаних каталогів зменшує систематичні похибки, притаманні індивідуальним каталогам.

Перша реалізація Міжнародної небесної системи відліку (International Celestial Reference Frame, ICRF) була опублікована в 1998 р. [6]. Усі радіоджерела в ICRF були умовно поділені на три групи: визначальні (defining), кандидати (candidate) та інші (other). Визначальні радіоджерела задають напрямок ICRF-осей. Припускалося, що вони будуть вибрані на основі історії їхніх спостережень і стабільності, а також на основі точності оцінки їхніх положень. Для покращення покриття неба в дану систему введено також джерела з меншою точністю та коротшою історією спостережень (кандидати), а також нестабільні джерела (інші). Ця реалізація містила 608 об'єктів, 212 з яких визначальні.

Каталог ICRF є індивідуальним. Його було створено в Центрі космічних польотів ім. Годдарда (НАСА, США) за допомогою програмних комплексів CALC, SOLVE та GLOBL. Для побудови ICRF були включені спостереження радіоджерел, висота над горизонтом яких становила 6 і більше. Це обумовлено недостатнім моделюванням тропосферної затримки сигналу на нижчих висотах.

Пізніше було створено два доповнення до даної реалізації — ICRF-Ext.1 та ICRF-Ext.2. Їх було отримано за даними РНДБ-спостережень на триваліших проміжках часу. У ці розв'язки увійшли додаткові джерела, координати яких визначені в системі ICRF.

З метою покращення ICRF у 2005 р. розпочався проект зі створення нової реалізації Міжнародної небесної системи відліку ICRF2. Для цього проводяться роботи із вибору визначальних (defining) джерел, створення та порівняння каталогів (індивідуальних та об'єднаних), побудови та аналізу часових рядів змін координат радіоджерел, вибору нестабільних джерел і таке інше.

Нещодавно було створено об'єднані каталоги в Головній астрономічній обсерваторії НАН України (Київ) та Головній (Пулковській) астрономічній обсерваторії Російської АН (ГАО РАН), Санкт-Петербург. Дана стаття присвячена порівнянню цих каталогів між собою та з каталогом ICRF-Ext.2.

ПОРІВНЯННЯ КАТАЛОГІВ

Характеристики порівнюваних каталогів. Обидва об'єднані каталоги, створені в ГАО НАНУ та ГАО РАН, були побудовані майже на одному і тому ж спостережному матеріалі.

В 2005 р. в рамках тільки-но розпочатого проекту ICRF2 більшість активних центрів аналізу РНДБ-спостережень отримали по два розв'язки Небесної системи координат (НСК), один — на всьому доступному інтервалі спостережень, а другий — на спостереженнях після 1990-го року. Метою цієї кампанії було виявити, наскільки змінюється НСК при врахуванні ранніх, менш точних РНДБ-спостережень. Згодом було показано, що обидва розв'язки кожного з центрів практично збігаються, бо ваги, з якими залучались до аналізу ранні спостереження, обернено пропорційні квадратам їхніх формальних похибок, тому гірші спостереження менше впливали на розв'язок [5].

Загалом вісім центрів аналізу брали участь в цьому проекті: Geoscience Australia (GA), Bundesamt für Kartographie und Geodäsie (BKG), Deutsches Geodätisches Forschungsinstitut (DGFI), Goddard Space Flight Center (GSFC NASA), Jet Propulsion Laboratory (JPL NASA), Головна астрономічна обсерваторія НАН України (ГАО НАНУ), Shanghai Astronomical Observatory (ShAO) і U. S. Naval Observatory (USNO). У табл. 1 наведено кількість радіоджерел, отриманих кожним з центрів аналізу для обох інтервалів спостережень. Також зазначено програмне забезпечення, що використовувалось центрами для аналізу.

Об'єднаний каталог, створений в ГАО НАН України, має стандартне позначення RSC(GAOUA)05 C 03 (надалі GAOUA). Для його побудови використано метод дуг, запропонований в ГАО НАНУ [2]. Його суть полягає у наступному:

- 1) обчислюються дуги (відстані на небесній сфері) між спільними визначальними радіоджерелами для всіх каталогів;
- 2) будується проміжна система, що задається положеннями двох радіоджерел;

Таблиця 1. Характеристики індивідуальних розв'язків, що увійшли в комбіновані каталоги

Центр аналізу	Кількість радіоджерел		Програмне забезпечення	Організація	Країна
	1979—2005 рр.	1990—2005 рр.			
AUS	737	736	OCCAM	GA	Австралія
BKG	748	747	CALC/SOLVE	BKG	Німеччина
DGFI	686	686	OCCAM/DOGS-CS	DGFI	Німеччина
GSFC	954	951	CALC/SOLVE	GSFC NASA	США
JPL	734	734	Modest	JPL NASA	США
MAO	695	685	SteelBreeze	ГАО НАНУ	Україна
SHAO	813	811	CALC/SOLVE	ShAO	Китай
USNO	943	940	CALC/SOLVE	USNO	США

3) будується об'єднаний каталог у проміжній системі;

4) здійснюється перехід від об'єданого каталогу в системі двох джерел до шуканої системи координат, що задається всіма визначальними радіоджерелами.

Для створення даного каталогу були використані індивідуальні розв'язки, отримані на інтервалі 1990—2005 рр.

Каталог GAOUA містить 887 джерел, 212 з яких визначальні.

Отриманий в ГАО РАН об'єднаний каталог RSC(PUL)06 C 02, який надалі ми будемо позначати PULK, був створений за допомогою класичного астрометричного підходу до об'єднання каталогів [8]. Суть методу полягає у:

1) переведенні всіх вхідних каталогів до системи ICRF шляхом визначення їхніх систематичних різниць методом Лежандра—Фур'є;

2) усередненні координат всіх джерел у каталогах, переведених на систему ICRF із вагами, обчисленими згідно із похибками координат.

Для побудови каталогу були використані ті ж вісім індивідуальних розв'язків, що і при створенні GAOUA, але використовувались результати аналізу всього інтервалу спостережень.

Каталог PULK містить 968 джерел, з яких 212 визначальні.

На рис. 1 показано розподіл стандартних відхилень прямих піднесенень зі схиленням для обох каталогів. Графіки побудовані тільки для спільних радіоджерел, кількість спостережень яких перевищує 500. Для ілюстрації поведінки очікуваного розподілу стандартних відхилень на обох графіках побудовано криві $a/\cos(\delta)$, де $a = 12$ мксд. Видно, що розподіл стандартних відхилень у прямому піднесенні зі схиленням у них різний. Так, для каталогу GAOUA величина a пропорційна $1/\cos(\delta)$, тоді як для PULK стандартні відхилення для прямого піднесення не залежать від δ . Тому надалі стандартні відхилення для каталогу PULK були помножені на $1/\cos(\delta)$.

На відміну від попередніх двох, ICRF-Ext.2 є результатом індивідуального розв'язку, тобто отриманий одним центром аналізу [3].

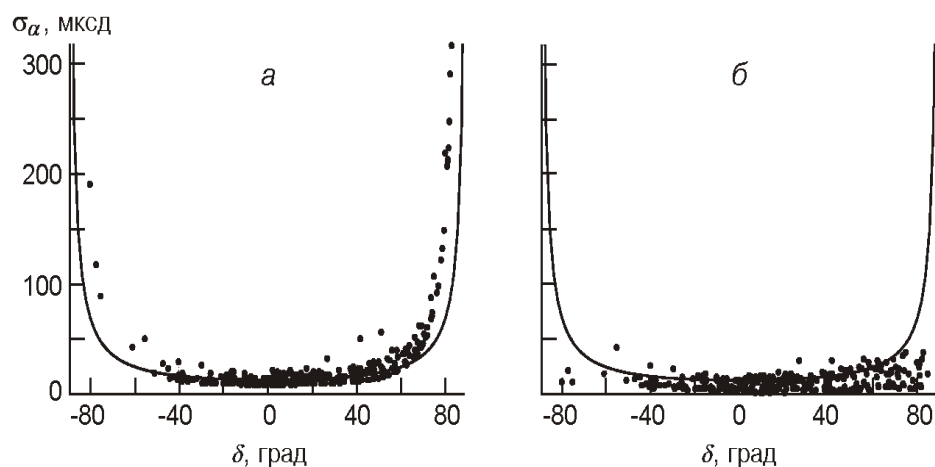


Рис. 1. Розподіл середніх квадратичних похибок зі схиленням для GAOUA (а) та PULK (б). Представлено тільки радіоджерела з кількістю спостережень понад 500

Надалі будемо позначати цей каталог ICRF. Для створення ICRF було використано дані РНДБ-спостережень із середини 1995 р. до травня 2002 р. Положення і похибки для визначальних джерел були взяті без змін із попередньої реалізації Міжнародної небесної системи відліку. Каталог ICRF містить 717 джерел, з яких 212 визначальні.

На жаль, і в каталозі ICRF, і в його розширеннях, ICRF-Ext.1 і ICRF-Ext.2, вибір визначальних джерел не відповідає запропонованому самими ж авторами визначенню. Наприклад, у цих каталогах координати 92 визначальних джерел отримані з аналізу менше ніж 100 часових затримок, 87 — спостерігались менше ніж десять РНДБ сеансів, а вісім визначальних джерел мають стандартні відхилення координат понад 1 мсд.

Для дослідження систематичних відмінностей каталогів ми попередньо виключили з розгляду джерела, координати яких в різних каталогах відрізняються на величини, що набагато більші за стандартне відхилення. Загалом такі різниці викликані недостатньою кількістю спостережень і геометрією розташування РНДБ-станцій. Наприклад, спостереження за міжнародними програмами IVS-CRF, IVS-CRFDS і IVS-CRFMS, основною метою яких є поширення ICRF на південну півкулю небесної сфери, найчастіше проводяться в однобазовій конфігурації. Тому із обох об'єднаних каталогів були виключені 35 радіоджерел, кількість спостережень (часові затримки) яких була менша семи. Як результат у трьох порівнюваних каталогах залишилося 677 спільних джерел, серед яких 212 визначальні.

Зведення каталогів в єдину систему. Положення визначальних радіоджерел задають в кожному із каталогів свою власну систему відліку. Тому перед порівнянням каталогів потрібно привести їх до єдиної системи.

Для визначення параметрів перетворення між i -м і j -м каталогом було використано модель, що враховує не лише взаємну орієнтацію, а й систематичні ефекти, що залежать від схилення [4]. Для кожного спільного радіоджерела у каталогах i і j різниці координат $\delta_i - \delta_j$ можна записати у вигляді

$$\begin{aligned} \delta_i - \delta_j &= A_1 \operatorname{tg} \cos \delta_i \sin \delta_j + A_2 \operatorname{tg} \sin \delta_i \cos \delta_j + A_3 D_i - D_j, \\ \delta_i - \delta_j &= A_1 \sin \delta_i \cos \delta_j + A_2 \cos \delta_i \sin \delta_j + D_i - D_j + B, \end{aligned}$$

де A_1, A_2, A_3 — малі кути повороту між двома системами координат, D_i і D_j — коефіцієнти, що характеризують зміни різниць прямих сходжень і схилень у залежності від схилень, B — поправка системи схилень для екваторіальної зони.

Розв'язуючи дані рівняння для спільних визначальних радіоджерел у каталогах за допомогою методу найменших квадратів, ми отримали оцінки кутів повороту і параметрів деформації, а також їхні середні квадратичні похибки. Результати наведено у табл. 2.

Як видно, параметри, визначені з порівняння обох об'єднаних каталогів із ICRF, не перевищують відповідні середні квадратичні похибки. Це означає, що орієнтація осей об'єднаних каталогів збігається з орієнтацією ICRF у межах похибок. Також видно, що середні квадратичні похибки оцінок параметрів моделі трансформації між об'єднаними каталогами у кілька разів менші, ніж ті, що отримані з порівняння з ICRF. Це вказує на те, що обидва об'єднаних каталоги дуже близькі один до одного. Практично немає систематичних різниць між GAOUA та PULK, лише оцінка повороту навколо осі Y перевищує похибку, але значення 12.4 мксд дуже мале і викликане, скоріше за все, відповідною систематичною різницею індивідуальних каталогів, що увійшли до комбінацій, і різними вагами цих індивідуальних розв'язків, які застосовувались під час побудови GAOUA і PULK.

Визначені параметри моделі обертання і деформації були використані, щоб привести обидва комбіновані каталоги до спільної системи ICRF.

На рис. 2—4 показано різниці $\cos \delta_i$ як функції δ_i для каталогів GAOUA та ICRF, PULK та ICRF, GAOUA та PULK. При побудові використовувались дані каталогів після поворотів до однієї системи координат.

Таблиця 2. Параметри моделей трансформації між каталогами GAOUA, PULK і ICRF

Порівнювані каталоги	A_1 , мксд	A_2 , мксд	A_3 , мксд	$D_i - D_j$, мксд/рад	$D_i - D_j$, мксд/рад	B , мксд
GAOUA – ICRF	13±18	-20±18	-35±22	-91±41	-20±21	6±18
PULK – ICRF	14±18	-12±18	-29±23	-84±41	-4±21	-3±18
GAOUA – PULK	4±04	12±04	2±06	6±12	1±06	4±05

Як видно, каталог ICRF сильно відрізняється від двох комбінованих каталогів, що підтверджує результати табл. 2. Однак є декілька джерел, для яких різниці координат у каталогах GAOUA та PULK досить суттєві. Так, для восьми радіоджерел різниці координат перевищують 500 мксд, що у порівнянні з середніми квадратичними залишками 40 мксд у прямому піднесенні і 64 мксд у схиленні є занадто великими. Координати більшості з цих радіоджерел отримані за відносно малою (< 220) кількістю спостережень. Лише координати джерела 0316+413 (3C84) отримані з аналізу 2490 часових затримок.

З метою визначення причин виникнення таких великих розбіжностей для цих радіоджерел були проаналізовані вхідні каталоги, названі у табл. 1. Виявилось, що лише для радіоджерела 0316+413 різниці у координат комбінованих каталогів викликані різними інтервалами РНДБ-спостережень. Це радіоджерело активно спостерігалось у 1980-х рр., але пізніше — значно рідше. А для інших семи радіоджерел різниці в координатах пов'язані з різними вагами індивідуальних розв'язків, які використовувались при комбінаціях, і особливостями окремого індивідуального каталогу, що був наданий австралійським центром аналізу РНДБ-спостережень. Для всіх семи джерел положення, отримані GA значно відрізняються від положень, отриманих із інших розв'язків, а стандартні відхилення координат у декілька разів менші за відхилення розв'язків, отриманих іншими центрами аналізу. Формальне використання обернених стандартних відхилень довжин дуг у якості ваг в комбінованому каталозі GAOUA призводить до того, що результат переобтяжений помилковими даними. У той же час використання класичного методу комбінації каталогів в PULK дозволяє відбракувати ці помилкові дані або змінити їхні ваги при створенні об'єданого каталогу. На рис. 5 показано положення двох радіоджерел, 0733-174 і 1416+067, згідно з індивідуальними і комбінованими розв'язками.

Обчислення «зовнішніх» похибок каталогів та коефіцієнтів кореляції. Після приведення каталогів до єдиної системи були обчислені так звані «зовнішні» середні квадратичні похибки координат у каталогах. Спосіб обчислення полягає в наступному. Нехай маємо M каталогів з N спільними джерелами. Позначимо одну із координат (чи) через x_i . Для i -го джерела обчислимо середнє значення $x_i^{(0)}$ і похибку $x_i^{(0)}$:

$$x_i^{(0)} = \frac{\sum_{j=1}^M p_i^{(j)} x_i^{(j)}}{\sum_{j=1}^M p_i^{(j)}}, \quad (x_i^{(0)})^2 = \frac{1}{\sum_{j=1}^M p_i^{(j)}},$$

де $p_i^{(j)} = (x_i^{(j)})^2$ — вага координати i -го джерела з j -го каталогу $x_i^{(j)}$. Утворимо для кожного спільного джерела різниці координат $x_i^{(j0)} = x_i^{(j)} - x_i^{(0)}$ і будемо розглядати отримані послідовності $\{x_i^{(j0)}\}_{j=1, \dots, N}$ як випадкові величини. Перейдемо від них до центрованих величин та

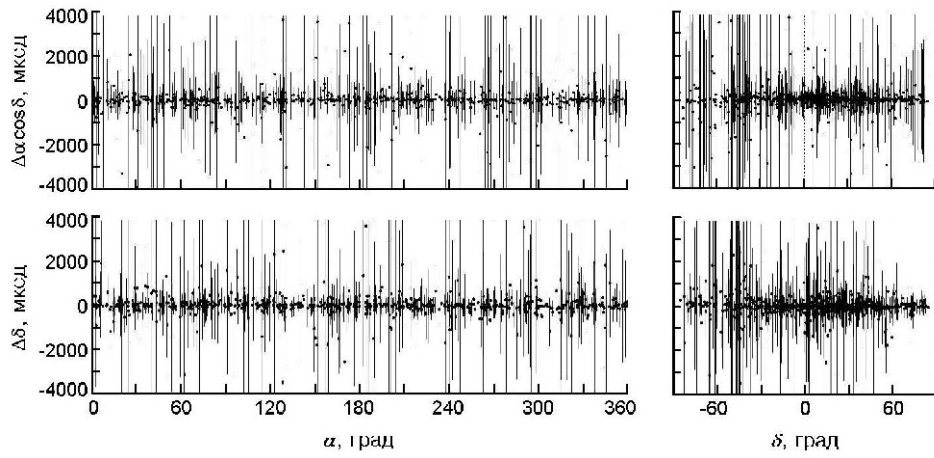


Рис. 2. Різниці координат GAOUA та ICRF

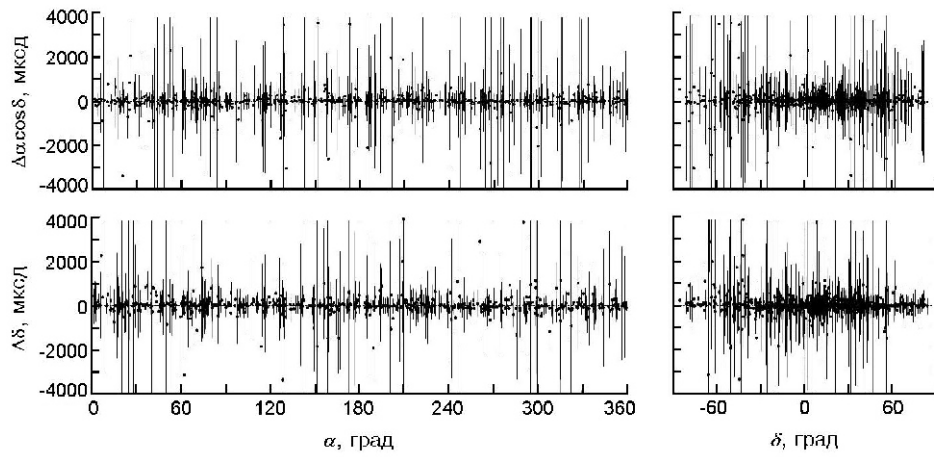


Рис. 3. Різниці координат PULK та ICRF

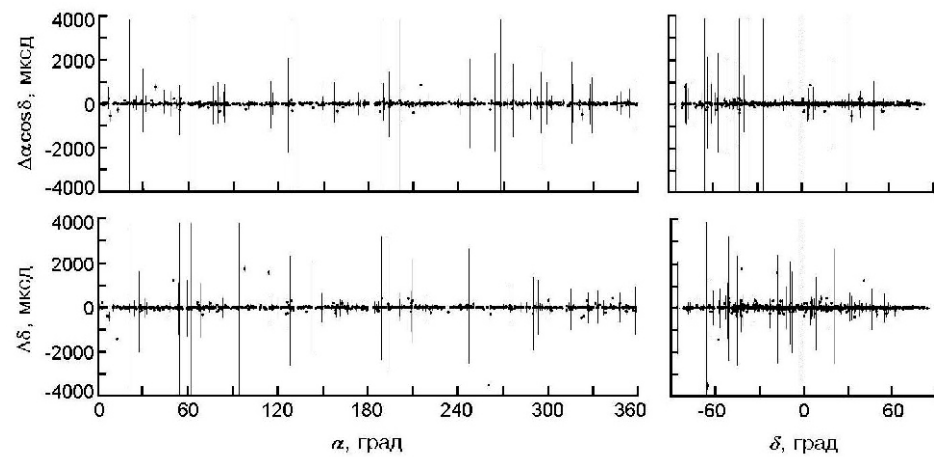


Рис. 4. Різниці координат GAOUA та PULK

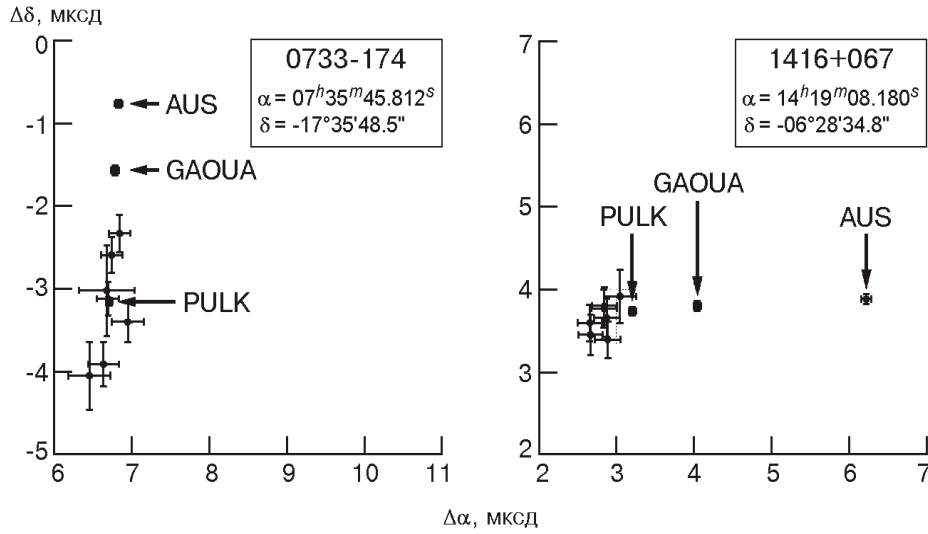


Рис. 5. Координати радіоджерел 0733-174 і 1416+067 з індивідуальних і комбінованих розв'язків. Положення, що відповідають розв'язкам Geoscience Australia, GAOUA та PULK, позначені стрілочками

визначимо математичні сподівання квадратів різниць координат l -го і k -го каталогів:

$$d_{kl} = M[(\hat{x}^{(k)} - \hat{x}^{(l)})^2] = \sigma_k^2 + \sigma_l^2 - 2d_{kl},$$

де $M[\]$ — оператор математичного сподівання, σ_k та σ_l — зовнішні середні квадратичні похибки визначення координат k -го та l -го каталогів, d_{kl} — коефіцієнт кореляції між відповідними координатами k -го та l -го каталогів і $\hat{x}^{(k)}$ — центровані значення $x^{(k)}$.

Один із способів отримання зовнішніх середніх квадратичних похибок був запропонований в роботі [1]. Він полягає в тому, що для отриманих послідовностей $\{x_i^{(k)}\}$ трьох досліджуваних каталогів обчислюються величини $M[(\hat{x}^{(k)} - \hat{x}^{(l)})^2]$, $M[\hat{x}^{(k)} - \hat{x}^{(l)}]$ та дисперсії рядів $\sigma_k^2 = M[\hat{x}^{(k)2}]$. Далі знаходяться відповідні коефіцієнти кореляції

$$d_{kl} = \frac{M[\hat{x}^{(k)} - \hat{x}^{(l)}]}{\sigma_k \sigma_l},$$

формується система нелінійних рівнянь відносно d_{kl} ($k = 1, 2, 3$):

$$\begin{aligned} d_{12} &= \frac{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 - d_{12}^2}{2\sigma_1\sigma_2}, \\ d_{13} &= \frac{\sigma_1^2 + \sigma_3^2 - d_{13}^2}{2\sigma_1\sigma_3}, \\ d_{23} &= \frac{\sigma_2^2 + \sigma_3^2 - d_{23}^2}{2\sigma_2\sigma_3}, \end{aligned}$$

яка розв'язується за допомогою методу ітерацій. За допомогою цього алгоритму раніше проводились порівняння каталогів в ГАО НАНУ.

Цей підхід має ряд недоліків. По-перше, всі обчислення виконувались без врахування ваг отриманих оцінок координат радіоджерел, що в окремих випадках призводило до нереальних значень зовнішніх середніх квадратичних похибок каталогів. Даний недолік особливо проявляється тоді, коли в одному каталозі координати джерела визначені із малого числа спостережень і мають великі середні квадратичні похибки, а у двох інших каталогах координати цього джерела визначені із значно більшої кількості спостережень. По-друге, для обчислення коефіцієнтів кореляції потрібно знати середні квадратичні похибки, які у першому наближенні приймаються рівними стандартним відхиленням рядів $\hat{x}^{(k)}$. Однак результати розв'язку дуже залежать від обчислених коефіцієнтів кореляції і обчислені таким способом стандартні відхилення рядів $\hat{x}^{(k)}$ (k), сильно впливають на розв'язки k . І по-третє, отримати розв'язок системи нелінійних рівнянь не завжди вдається, особливо якщо в рядках $\hat{x}^{(k)}$ є викиди.

Запропонований в даній роботі спосіб обчислення зовнішніх середніх квадратичних похибок каталогів полягає в наступному. Розглянемо систему рівнянь, утворену з математичних сподівань квадратів сум і різниць координат k -го і l -го каталогів:

$$d_{kl} = M[(\hat{x}^{(k)} - \hat{x}^{(l)})^2] = \frac{2}{k} + \frac{2}{l} + 2 s_{kl},$$

$$s_{kl} = M[(\hat{x}^{(k)} - \hat{x}^{(l)})^2] = \frac{2}{k} + \frac{2}{l} + 2 d_{kl}.$$

У випадку трьох каталогів, утворюючи суми s_{kl} і d_{kl} , створюємо лінійну систему рівнянь відносно s_k , $k = 1, 2, 3$, розв'язком якої є

$$s_1 = \frac{1}{4}(s_{12} + s_{13} + s_{23} + d_{12} + d_{13} + d_{23}),$$

$$s_2 = \frac{1}{4}(s_{12} + s_{23} + s_{13} + d_{12} + d_{23} + d_{13}),$$

$$s_3 = \frac{1}{4}(s_{23} + s_{13} + s_{12} + d_{23} + d_{13} + d_{12}).$$

Утворюючи різниці s_{kl} і d_{kl} , можемо отримати вирази для коефіцієнтів кореляції:

$$r_{12} = \frac{s_{12} - d_{12}}{4},$$

$$r_{13} = \frac{s_{13} - d_{13}}{4},$$

$$r_{23} = \frac{s_{23} - d_{23}}{4}.$$

Такі оцінки величин r_k і r_{kl} більш реальні, ніж у першому випадку, а обчислення їх значно простіше і не вимагає обчислення проміжних

значень s_k . До того ж система зводиться до лінійної, розв'язок якої може бути отриманий аналітично.

Для обчислення величин s_{kl} і d_{kl} ми використовували ваги, які знаходяться за формулами

$$P_i^{(kl)} = \frac{1}{P^{(kl)}} \frac{1}{\binom{(k)}{i}^2 \binom{(l)}{i}^2},$$

де

$$P^{(kl)} = \sum_{i=1}^N \frac{1}{\binom{(k)}{i}^2 \binom{(l)}{i}^2}.$$

Наведений алгоритм обчислення зовнішніх середніх квадратичних похибок координат каталогів був реалізований у новому програмному забезпеченні (на мові програмування C++) порівняння каталогів.

Таблиця 3. Зовнішні оцінки точності систем відліку: коефіцієнти кореляції та середні квадратичні похибки каталогів

Координата	(GAOUA—PULK)	(GAOUA—ICRF)	(PULK—ICRF)	GAOUA, МКСД	PULK, МКСД	ICRF, МКСД
За 677 спільними джерелами						
	0.850	0.162	0.073	22	18	133
	0.872	0.025	0.106	33	30	179
За 212 спільними визначальними джерелами						
	0.999	0.218	0.075	18	27	194
	0.999	0.085	0.121	55	42	220

Результати порівняння каталогів GAOUA, PULK та ICRF наведено в табл. 3. Отримано порівняння для двох наборів радіоджерел: 1) всі 677 спільних джерел і 2) тільки 212 спільних визначальних джерел. Як видно, зовнішні середні квадратичні похибки каталогів GAOUA і PULK значно менші за похибки каталога ICRF як для всієї множини спільних джерел, так і для вибірки спільних визначальних джерел. Більше того, в останньому випадку різниці похибок ще більші, що говорить про недосконалий вибір визначальних джерел в каталозі ICRF та його доповненнях. Також слід зауважити, що в даному випадку значення коефіцієнтів кореляції між GAOUA і PULK, близькі до -1 , свідчать лише про те, що на обчислення середніх значень координат $x_i^{(0)}$ значно більше впливали координати із каталогів GAOUA і PULK, і практично не впливали відповідні значення ICRF через великі стандартні відхилення координат.

ВИСНОВКИ

Запропонований новий спосіб обчислення коефіцієнтів кореляції та зовнішніх середніх квадратичних похибок каталогів дає можливість отримувати реальніші значення шуканих величин, ніж попередній спосіб.

Взаємне порівняння каталогів GAOUA, PULK та ICRF показало, що об'єднані каталоги дуже близькі між собою, а каталог ICRF у порівнянні з ними має меншу точність.

У даній роботі були використані індивідуальні розв'язки обробки РНДБ-спостережень, які надає Міжнародна служба РНДБ для задач геодезії та астрономії (IVS, [7]).

Автори вдячні Я. С. Яцківу за критичні зауваження і обговорення результатів роботи, а також З. М. Малкіну і Ю. Р. Соколовій за наданий комбінований каталог RSC(PUL)06 C 02.

Робота частково виконувалася у рамках проектів науково-дослідних робіт «Російсько-українська РНДБ-мережа для цілей астрометрії і геодинаміки» та «Визначення кінематичних параметрів об'єктів Всесвіту у Міжнародній системі відліку» Національної академії наук України.

1. Болотін С. Л., Молотай О. А., Тельнюк-Адамчук В. В., Яцків Я. С. Про узгодженість системи відліку, реалізованої каталогом RSC(GAOUA)97 C 01, з міжнародною небесною системою відліку ICRF. — Київ, 1998.—39 с.— (Препринт / НАН України. Головна астрономічна обсерваторія; ГАО-98-2У).
2. Курьянова А. Н., Яцків Я. С. Сводный каталог положений внегалактических радиоисточников RSC(GAO UA)91 C 01 // Кинематика и физика небес. тел.— 1993.—9, № 2.—С. 15—25.
3. Fey A. L., Ma C., Arias E. F., et al. The second extension of the International Celestial Reference Frame: ICRF-Ext.2 // Astron. J.— 2004.—127.— P. 3587—3608.
4. IERS Annual Report. — Observatoire de Paris, 1994. — P. II-23 — II-28.
5. Lytvyn S. O. Comparison of various runs of combination solution for constructing the GAOUA combined catalogue of RS positions // Proc. of the Journées 2005 «Systemes de Reference Spatio-Temporels», Warsaw, September, 19—21, 2005. — Warsaw, 2005.—P. 27—28.
6. 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.—116.— P. 516— 546.
7. Schlueter W., Himwich E., Nothnagel A., et al. IVS and its important role in the maintenance of the Global Reference Systems // Adv. Space Res.—2002.—30, N 2.— P. 145—150.
8. Sokolova J. R., Malkin Z. M. On comparison and combination of radio source catalogues // Proceedings of the 18th European VLBI for Geodesy and Astrometry Working Meeting, 2007, April 12—13, — 2007.—P. 98—102.

Надійшла до редакції 29.01.09