

УДК 523.89

Ю. А. Нефедьев, Л. И. Рахимов, Н. Г. Ризванов, Р. Р. Шаймухаметов

Астрономическая обсерватория им. Энгельгардта при Казанском государственном университете
422526 Российская Федерация, Татарстан, Зеленодольский район

Графический метод оценки точности астрометрических каталогов

Предлагается новый метод оценки точности положений и собственных движений звезд в астрометрических каталогах путем сравнения положений звезд в исследуемом каталоге и каталоге HIPPARCOS в разные эпохи, но при стандартном равноденствии. Результаты сравнения представляются в виде зависимости количества сравниваемых звезд в процентах относительно общего числа сравниваемых звезд в обоих каталогах, для которых абсолютные величины разностей координат «каталог минус HIPPARCOS» больше заданной величины. Приведены результаты сравнения для ряда каталогов. Для каталога UCAC2 производится оценка точности классическим методом путем сравнения с каталогами HIPPARCOS и «Tycho-2»: определяются стандартные отклонения для положений и собственных движений как функции звездных величин.

ГРАФІЧНИЙ МЕТОД ОЦІНКИ ТОЧНОСТІ АСТРОМЕТРИЧНИХ КАТАЛОГІВ, Нефедьєв Ю. А., Рахімов Л. І., Різванов Н. Г., Шаймухаметов Р. Р. — Запропоновано новий метод оцінки точності положень і власних рухів зірок в астрометричних каталогах шляхом порівняння положень зірок в досліджуваному каталозі та каталозі HIPPARCOS у різні епохи, але при стандартному рівноденні. Результати порівняння подаються у вигляді залежності кількості порівнюваних зірок у процентах від загальної кількості порівнюваних зірок в обох каталогах, для яких абсолютні величини різниць координат «каталог мінус HIPPARCOS» перевищують задану величину. Приведено результати порівняння для ряду каталогів. Для каталогу UCAC2 оцінюється точність класичним методом шляхом порівняння з каталогами HIPPARCOS і «Tycho-2»: визначаються стандартні відхилення для положень і власних рухів як функції зоряних величин.

GRAPHICAL METHOD FOR ESTIMATION OF ACCURACY OF ASTROMETRIC CATALOGUES, by Nefedjev Yu. A., Rakhimov L. I., Rizvanov N. G., Shaymukhametov R. R. — We propose a new method for the estimation of the accuracy of star positions and proper motions in astrometric catalogues based on the comparison of the star positions in catalogue a under investigation and the HIPPARCOS catalogue in various epochs but for a

standard equinox. In this case the comparison results are represented as a curve. On the abscissa the years of comparison are plotted. An amount of the stars compared are plotted as ordinates expressed in percent of the total number of the compared stars in both catalogues, for which coordinate differences "catalogue minus HIPPARCOS" are more than a given value. Our results of the comparison for a number of catalogues are given. A statistic data analysis is carried out.

ВВЕДЕНИЕ

Каталог HIPPARCOS имеет высокую точность положений и собственных движений — около 1 мсд (миллисекунда дуги) и 1 мсд/год соответственно [10]. По решению МАС он принят в качестве астрометрического стандарта и используется при оценке точности астрометрических каталогов [2, 9].

Оригинальная количественная оценка точности каталогов «Tycho» [10], АСТ [12], TRC [5], «Tycho-2» [11], FONAC [7] в случайном отношении была произведена в работе [2]. Ниже предлагается новый, графический метод оценки точности положений и собственных движений звезд в астрометрических каталогах. Он основан на вычислении разности положений звезды в исследуемом каталоге и в каталоге HIPPARCOS на ту же эпоху и равноденствие J.2000.0. Такие разности вычисляются для N общих звезд в каталогах. Из всего количества полученных разностей для каждой эпохи определяется количество n больших разностей, т. е. тех разностей координат, абсолютные величины которых превышают некоторую заданную величину Δ . Далее строится зависимость доли больших разностей координат $L = n/N$ от эпохи T . Такая зависимость отличается большой наглядностью и может быть использована для исследования точностных характеристик каталогов. Работа посвящена применению этого метода для оценки взаимной точности некоторых известных каталогов (PPM [3, 8], ACRS [4], «Tycho-2» [11], АСТ [12], TRC [5], FONAC [7], «Tycho» [10], UCAC2 [14]) по отношению к каталогу HIPPARCOS, который считается наиболее точным.

ОПИСАНИЕ МЕТОДА

Современные каталоги PPM, «Tycho-2» и другие относятся к эпохе $T_0 = J.2000.0$, каталоги HIPPARCOS и «Tycho» — к эпохе $T_0 = J.1991.25$. Для некоторой эпохи T_j координаты звезд в каталоге HIPPARCOS будут равны

$$\begin{aligned}\alpha_H &= [\alpha_{1991.25} + \mu_\alpha(T_j - 1991.25)], \\ \delta_H &= [\delta_{1991.25} + \mu_\delta(T_j - 1991.25)],\end{aligned}\quad (1)$$

а в исследуемом каталоге —

$$\begin{aligned}\alpha_{\text{cat}} &= [\alpha_{T_0} + \mu_\alpha(T_j - T_0)], \\ \delta_{\text{cat}} &= [\delta_{T_0} + \mu_\delta(T_j - T_0)].\end{aligned}\quad (2)$$

Рассмотрим совокупность N общих звезд в исследуемом каталоге и каталоге HIPPARCOS. Образует разности координат для каждой звезды для некоторой эпохи T_j и найдем их суммы:

$$\begin{aligned}\Delta\alpha_i \cos\delta &= (\alpha_{\text{cat}} - \alpha_H) \cos\delta, \\ \Delta\delta_i &= (\delta_{\text{cat}} - \delta_H), \\ \Delta_i &= |\Delta\alpha_i \cos\delta| + |\Delta\delta_i|.\end{aligned}\quad (3)$$

Если суммарная разность Δ_i окажется меньше некоторой заданной величины, например $\Delta = 0.2''$, будем ее отбрасывать. Учитывать будем только разности, превышающие Δ . Пусть число таких разностей будет n_j , тогда их доля среди всех общих звезд равна $L_j = n_j/N \cdot 100\%$. Выполним такие вычисления для ряда эпох (обычно больше десяти). Далее представим L_j в виде функции от T_j . Оказывается, что кривые $L_j(T_j)$ хорошо описываются функцией «лоренциал» вида

$$L(x) = \Delta(x) / \{(x - x_0)^2 + [\Delta(x/2)]^2\}.$$

Примеры таких кривых для разных каталогов приведены на рисунке. При этом совершенно ясно, что абсциссы минимума кривых L_j дают информацию об эпохах наблюдений исследуемых каталогов, а ординаты — о точности положений звезд в исследуемом каталоге. Чем меньше ордината при фиксированном Δ , тем точнее положения звезд в каталоге. Крутизна крыльев L_j дает информацию о точности собственных движений звезд в исследуемом каталоге. Чем меньше крутизна, тем точнее собственные движения в данном каталоге. Это следует из простых соображений.

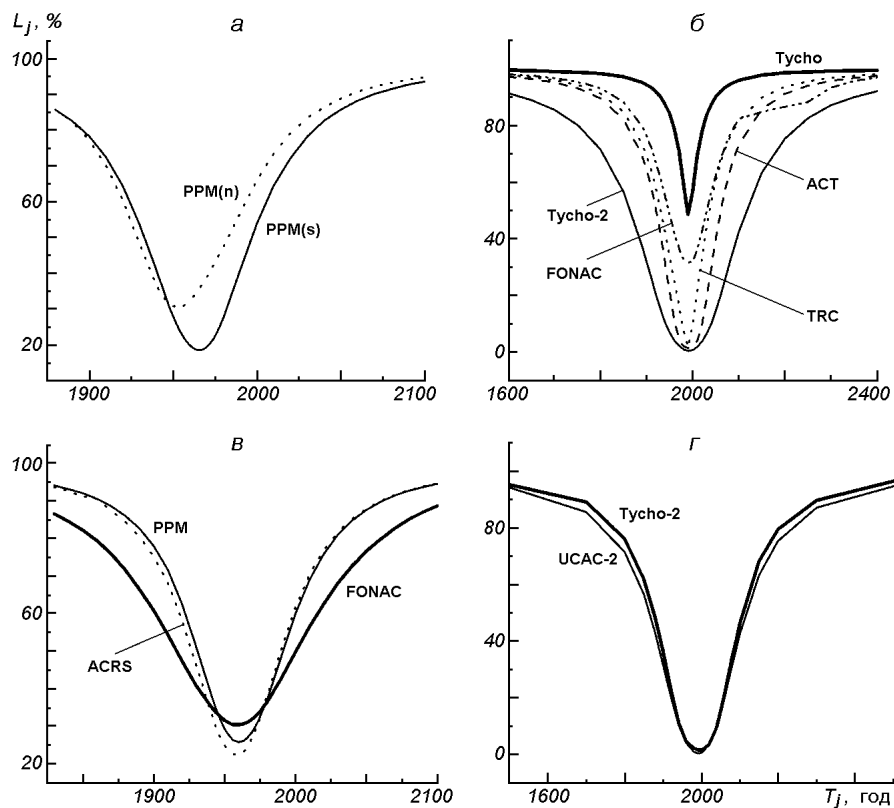
РЕЗУЛЬТАТЫ ОЦЕНИВАНИЯ ТОЧНОСТИ КАТАЛОГОВ ГРАФИЧЕСКИМ МЕТОДОМ

Используя полученные зависимости $L_j(T_j)$, оценим точностные характеристики некоторых известных каталогов: PPM [3, 8], ACRS [4], «Tycho-2» [11], АСТ [12], TRC [5], FONAC [7], «Tycho» [10], которые достаточно хорошо изучены и не нуждаются в представлении, а также каталог UCAC2 [14], которому дадим краткую характеристику.

Каталог UCAC основан на проекте Морской обсерватории США, предполагающем ПЗС-наблюдения на астрографе с 5-линзовым объективом диаметром 206 мм звезд всего неба в диапазоне звездных величин от 7.5 до 16^m. Первый предварительный каталог UCAC1 включает 27 млн. звезд южного неба и основан на наблюдениях в обсерватории Сьерра-Тололо с февраля 1998 г. по ноябрь 1999 г. UCAC1 подробно исследован в работе [15]. В октябре 2001 г. телескоп был перенесен в Флагстафф (Аризона) для наблюдений северных звезд. Вторым вариантом каталога — UCAC2 [14] основан на ПЗС-наблюдениях в 1998—2000 гг. Он охватывает 86 % небесной сферы и включает 48330571 звезду в зоне $\delta = -90^\circ \dots +40^\circ$, в некоторых областях до $\delta = +52^\circ$. Собственные движения ярких звезд от 8 до 12.5^m определялись по наземным фотографическим и меридианным каталогам, включая данные HIPPARCOS и «Tycho-2». Использовались также переизмерения AGK2 фотографических пластинок, полученных в Бонне и Гамбурге в 1930 г. Для слабых звезд (12.5^m—16^m) собственные движения определялись по данным [6] и [13]. Наблюденные ошибки положений каталога UCAC для звезд 10...14^m около 20 мсд, для звезд 14...16^m — около 70 мсд; ошибки собственных движений звезд ярче 12.5^m — около 4—6 мсд/год, звезд слабее 12.5^m — около 1—3 мсд/год.

Статистический анализ собственных движений μ звезд каталога UCAC2 на основе критерия согласия Пирсона χ^2 показал, что при $|\mu_\alpha| > 0.2''$ и $|\mu_\delta| > 0.2''$ выдвинутая гипотеза о несущественности (при уровне значимости $\alpha = 10\%$) для этих величин отвергается. Поэтому звезды, для которых модуль собственного движения больше 0.2'', из исследуемого списка исключаются. При статистическом анализе рассматриваются только те звезды, которые содержатся в каталогах HIPPARCOS и «Tycho-2».

Для некоторых звезд каталога UCAC2 (примерно 5—7 % в списках



Графическое описание астрометрической точности каталогов

общих звезд) нет данных о собственных движениях либо по α , либо по δ . Эти звезды также были исключены из списка исследуемых.

На рисунке *a* приведены зависимости L_j от T_j для каталога PPM при $\Delta = 0.2''$ отдельно для северной зоны PPM(n) и южной PPM(s). Известно, что наблюдения северных и южных звезд PPM производились в разные годы. Это наглядно видно из положения минимумов кривых L_j , указывающего на эпохи наблюдений.

Видно также, что ордината точки минимума L_j для PPM(n) равна 30.6 %, а для PPM(s) — 18.6 %. Следовательно, положения звезд в PPM(s) точнее, чем в PPM(n).

На рисунке *б* приведены кривые L_j для каталогов «Tycho-2», ACT, TRC, FON и «Tycho» при $\Delta = 0.2''$. Среди них наиболее точные положения звезд у каталога «Tycho-2» (0.4 %), наименее точные у «Tycho» (48.8 %). У каталогов ACT и TRC точность почти одинаковая — (1.48 %) и (1.87 %). У каталога FON она хуже, чем у ACT и TRC, но лучше, чем у каталога «Tycho» — (31.7 %). Судя по крутизне крыльев L_j , наиболее точные собственные движения у звезд каталога «Tycho-2». У каталогов ACT и TRC они приблизительно одинаковы. У каталога FON собственные движения близки к собственным движениям звезд каталога «Tycho-2». Наименее точны они у каталога «Tycho».

На рисунке *в* сравниваются каталоги PPM, ACRS и FON. Положения звезд в каталоге ACRS немного точнее, чем в PPM, и наименее точны они в каталоге FON: 22.4, 26.1 и 30.5 % соответственно. Наиболее точные собственные движения у звезд каталога FON. У ACRS и PPM они близки

Результаты сравнения каталогов UCAC-2, HIPPARCOS и «Tycho-2»

V_T	n	σ_{cx}	σ_{cy}	σ_{qx}	σ_{qy}	n	σ_{cx}	σ_{cy}	σ_{qx}	σ_{qy}
		мсд	мсд	мсд/год	мсд/год		мсд	мсд	мсд/год	мсд/год
UCAC-2 – HIPPARCOS						UCAC-2 – «Tycho-2»				
8.0	1938	56	76	3	3	570	13	12	1	1
8.5	3140	48	56	2	2	1521	14	12	1	1
9.0	3347	41	44	2	2	3432	15	14	1	1
9.5	1965	53	57	2	2	6365	17	17	1	1
10.0	1078	54	58	4	3	11222	19	19	2	1
10.5	543	54	43	4	4	19443	24	24	2	2
11.0	271	38	36	4	4	30849	33	33	2	2
11.5	105	40	48	4	5	53859	48	48	2	2
12.0	56	62	59	7	8	79062	74	87	3	3
12.5	25	69	79	7	8	148846	84	109	3	3
Среднее	12257	49	56	4	4	354836	83	82	3	3

по точности. Оценки точности каталогов ACRS и PPM соответствуют результатам исследований их точности в Пулковской обсерватории [1].

На рисунке 2 приведены кривые L_j для каталогов UCAC2 и «Tycho-2» при значениях $\Delta = 0.2''$. Точность положений и собственных движений звезд в этих каталогах приблизительно равны.

Оценка точности каталогов графическим методом позволяет определять внешние общие ошибки, включающие случайные и региональные ошибки. Здесь термин «внешние» подразумевает ошибки, полученные путем сравнения с каталогом HIPPARCOS. Для каталога UCAC2 внешние общие ошибки положений составляют по α и δ 20 и 19 мсд, ошибки собственных движений по α и δ составляют 2 и 2 мсд/год. Ошибки наблюдений для положений по оценкам авторов каталога, как отмечалось выше, составляют для звезд яркостью 10...14^m около 20 мсд. Для собственных движений ошибки наблюдений для звезд ярче 12.5^m составляют 4—6 мсд/год, для звезд слабее 12.5^m эти ошибки около 1—3 мсд/год.

Рассмотрим разности координат и собственных движений звезд, общих для каталогов UCAC2 и HIPPARCOS, UCAC2 и «Tycho-2», вычисленных по формулам (3). Обозначим их, следуя работе [15], s_x , s_y , q_x и q_y . Вычислим стандартные отклонения по формулам

$$\sigma_x = \sqrt{\sum (x_i - \bar{x})^2 / (n - 1)},$$

$$\sigma_y = \sqrt{\sum (y_i - \bar{y})^2 / (n - 1)},$$

где x_i , y_i — индивидуальные разности положений $\Delta\alpha\cos\delta$, $\Delta\delta$ или собственных движений $\Delta\mu_\alpha\cos\delta$, $\Delta\mu_\delta$ между звездными каталогами UCAC2 и HIPPARCOS и «Tycho-2», \bar{x} , \bar{y} — средние арифметические разностей положений и собственных движений звезд для сравниваемых каталогов.

В таблице приведены стандартные отклонения (ошибки) разностей положений σ_{cx} , σ_{cy} и собственных движений σ_{qx} , σ_{qy} соответственно для (UCAC2 — HIPPARCOS) и (UCAC2 — «Tycho-2») для звездных величин $V_T = 8...12.5^m$ (звезд слабее 13^m в каталогах HIPPARCOS и «Tycho-2» нет).

Стандартные отклонения в таблице включают случайные и региональные ошибки. Они не разделяются.

Работа выполнялась при финансовой поддержке РФФИ.

1. Евдокимов А. Е., Пикин Ю. Д., Поттер Х. И. Сравнение сводных каталогов ACSRS, PPM, HIP. — СПб: Глаголь, 1995.—43 с.—(Препр. / РАН. Глав. астрон. обсерватория; № 1).
2. Нефедьев Ю. А., Ризванов Н. Г., Шаймухаметов Р. Р. Сравнительная оценка точности современных астрометрических каталогов // Кинематика и физика небес. тел.—2003.—19, № 4.—С. 379—384.
3. Bastian U., Ruser S. PPM Star Catalogue South. Positions and proper motions of 197.179 stars south of -2.5 degrees declination for equinox and epoch J2000.0. — Heidelberg: Spectrum, 1993.—Vol. 3, 4.
4. Corbin T., Urban S. Astrographic catalogue reference stars. — Washington, DC.: U. S. Naval Observatory, 1991.—540 p.
5. Hog E., Kuzmin A., Bastian U., et al. The Tycho reference catalogue // Astron. and Astrophys.—1998.—335, N 3.—P. L65—L68.
6. Jones B. F., Hanson R. B., Klemola A. R. Lick Northern Proper Motion Programm: NPM2 // AAS meeting 196.—2000.—Abstract 53. 02.
7. Kislyuk V., Yatsenko A., Ivanov G., Pakulak L., Sergeeva T. The FON astrographic catalogue (FONAC): Version 1.0 // Proc. of Journées 1999 and IX Lohrman-Kolloqium «Motion of Celestial Bodies, Astrometry and Astronomical. Reference Frame», September 13—15, 1999. — Dresden: Lohrman Observatory, 2000.—P. 61.
8. Ruser S., Bastian U. PPM Star Catalogue. Position and proper motion of 181731 stars north of -2.5 degrees declination for equinox and epoch J2000.0. — Heidelberg: Spectrum, 1991.—Vol. 1, 2.
9. Schwan H. Systematic relations between the HIPPARCOS catalogue and major (fundamental) catalogues of the 20th century (Paper D) // Astron. and Astrophys.—2001.—373, N 3.—P. 1099—1109.
10. The HIPPARCOS and TYCHO Catalogues. — Noordwijk: ESA Publ., 1997.—Vol. 1—17.
11. The Tycho-2 catalogue, position, proper motion, and two color photometry of the 2.5 million stars. — Copengagen, 2000.
12. Urban S. E., Corbin T. E., Wycoff G. L. The ACT reference catalogue // Astron. J.—1998.—115, N 5.—P. 2161—2166.
13. Van Altena W. F., Girard T. M., Platais I., et al. The Yale/San Juan Southern Proper Motion Programm // AAS. DDA meeting N 30.—10.04.
14. Zacharias N. The USNO CCD Astrograph Catalog (UCAC) Project and beyond // The future of small telescopes in the new millennium. Vol. II. The telescopes we use / Ed. by T. D. Oswalt. — Dordrecht: Kluwer, 2003.—P. 67.
15. Zacharias N., Zacharias M. I., Urban S. E., Hog E. Comparing Tycho-2 astrometry with UCAC1 // Astron. J.—2000.—120, N 2.—P. 1148—1152.

Поступила в редакцию 10.10.05