

УДК 524.3—325.2

Исследование уравнения блеска собственных движений звезд в площадках неба с галактиками

С. П. Рыбка

С помощью различных статистических методов определены значения ошибок уравнения блеска собственных движений звезд в 30 площадках неба с галактиками, снятых на длиннофокусном астрографе ГАО АН УССР ($D=40$ см, $F=5.5$ м). Оценено изменение коэффициентов уравнения блеска в результате применения различных положений апекса Солнца при вычислении параллактических смещений ярких и слабых звезд.

MAGNITUDE EQUATION OF STELLAR PROPER MOTIONS IN AREAS WITH GALAXIES, by Rybka S. P. — The magnitude equation of stellar proper motions obtained with the long-focus astrograph ($D=40$ cm; $F=5.5$ m) in 30 areas with galaxies was determined by different statistical methods. As a result of using different solar apex positions for calculation of parallax factors of bright and faint stars the magnitude equation differences were estimated.

При составлении каталогов собственных движений звезд в областях неба с галактиками на одном и том же негативе измеряются как слабые звезды и галактики ($\sim 14^m$), так и яркие звезды (10^m-8^m). Последние необходимы для связи с существующими фундаментальными системами собственных движений звезд. Поэтому при измерении объектов столь различной яркости приходится принимать во внимание возможность появления систематических ошибок в собственных движениях звезд, зависящих от их звездной величины — ошибок уравнения блеска (УБ). Причины возникновения УБ связаны как с недостатками объектива астрографа (изменение центрировки линз после получения снимков в первую эпоху), так и с различными условиями наблюдений старой и новой пластинок. Эти две составляющие общей ошибки УБ проявляют себя различным образом: первая присуща всем парам пластинок, а вторая зависит от условий фотографирования и может считаться случайной. УБ фотографического объектива астрографа ГАО АН УССР ($D=40$ см, $F=5.5$ м) неоднократно исследовалось [1, 6]. Эти исследования показали, что ошибка УБ искажает как положения звезд, так и их собственные движения.

В данной работе приводятся результаты определения УБ собственных движений звезд в 30 площадках неба с галактиками. Каталог исследуемых собственных движений звезд составлен автором по 43 парам пластинок, снятых на астрографе ГАО АН УССР при средней разности эпох, равной 20 годам. Точность собственных движений звезд в каталоге составляет $\pm 0.006''$ в год.

УБ исследовалось двумя статистическими методами. Первый был разработан в Пулковке А. Н. Дейчем [3, 4]. Он заключается в сравнении средних по группам звездных величин собственных движений звезд $\bar{\mu}_x$, $\bar{\mu}_y$ с их параллактическими смещениями, вызванными движением Солнца к апексу ρP_x , ρP_y . Здесь ρ — вековой параллакс звезд, P_x , P_y — параллактические множители. Ход разностей $\rho P_x - \bar{\mu}_x$ и $\rho P_y - \bar{\mu}_y$ со звездной величиной звезд считается признаком наличия УБ, которое определяется обычно из решения линейных уравнений:

$$\begin{aligned} a_x(m_i - m_0) + c_x &= \rho_i P_x - \bar{\mu}_{xi}, \\ a_y(m_i - m_0) + c_y &= \rho_i P_y - \bar{\mu}_{yi} \quad i = 1, 2, \dots, k, \end{aligned} \quad (1)$$

где a_x, a_y — искомые коэффициенты УБ, m_i — средняя звездная величина звезд в i -ой группе по блеску, m_0 — средняя звездная величина опорных звезд, k — количество групп. Как правило, при образовании μ_{xi}, μ_{yi} исключаются звезды с большими собственными движениями, например, более $0.05''$ в год.

Параллактические множители P_x и P_y являются функциями экваториальных координат (α, δ) и зависят от принятого значения положения апекса Солнца (A, D) :

$$P_x = \sin(\alpha - A) \cos D, \quad P_y = \cos(\alpha - A) \cos D \sin \delta - \sin D \cos \delta. \quad (2)$$

Обычно предполагается, что P_x, P_y не зависят от блеска звезд, а A, D приравнивают их стандартным значениям ($A=270^\circ, D=+30^\circ$). Однако известно, что положение апекса Солнца зависит от звездной величины звезд, относительно которых оно определено. Так, прямое восхождение апекса, полученное относительно слабых звезд 14^m-16^m , отличается от стандартного на 30° , а склонение — на 14° по данным [9, 12]. Считается, что это обстоятельство мало влияет на вывод коэффициентов УБ. Вековые параллаксы звезд в зависимости от блеска звезд и их галактической широты находятся по таблицам, полученным в результате анализа обширных каталогов собственных движений звезд. Таким образом, предполагается, что движение звезд в отдельных площадках исследуемого каталога совпадает со средним статистическим по данным других каталогов. В практике фотографической астрометрии широко применяются вековые параллаксы Биннендайка, полученные по Пулковскому и Радклифскому каталогам собственных движений звезд в площадках Каптейна [11]. Однако в последнее время появились работы [3, 4, 7], где отмечено, что использование этих данных может привести к появлению фиктивного УБ. Источник его заключается в том, что соответствующие вековые параллаксы получены по всем без исключения звездам, тогда как при образовании средних собственных движений в отдельных площадках наиболее крупные необходимо отбрасывать. Поэтому предлагается использовать вековые параллаксы звезд, определенные по собственным движениям, величины которых менее $0.05''$ в год. Такие данные для трех зон по галактической широте имеются в работах [2, 9] и [12] без разделения по широте. Они хорошо согласуются между собой и слабо зависят от галактической широты.

Второй метод исследования УБ, разработанный в ГАО АН УССР [10], не требует привлечения данных других каталогов. В этом случае коэффициенты УБ a'_x, a'_y определяются из решения линейных уравнений:

$$a'_x(m_i - m_0) + c'_x = (d_x \bar{\mu}_i + b_x) - \mu_{xi}, \quad (3)$$

$$a'_y(m_i - m_0) + c'_y = (d_y \bar{\mu}_i + b_y) - \mu_{yi},$$

где $\bar{\mu}_i$ — среднее полное собственное движение звезд в i -ой группе по блеску. d_x, d_y, b_x, b_y находятся предварительно из уравнений:

$$d_x \mu_j + b_x = \mu_{xj}, \quad d_y \mu_j + b_y = \mu_{yj}, \quad (4)$$

где μ_j — полные собственные движения звезд в той группе по блеску, где УБ принимается равным 0, а μ_{xj}, μ_{yj} — их компоненты по координатам x и y . Предполагается, что зависимость (4) справедлива для всех других групп звездных величин. Большие собственные движения звезд исключаются как при образовании μ_{xi}, μ_{yi} , так и при решении (4). Окончательные значения a'_x, a'_y получают после 2—3 приближений (3), каждый раз исправляя μ_i найденными поправками УБ.

В данной работе решались две задачи: 1) сравнивались значения УБ, полученные двумя вышеописанными методами; 2) оценивалось влияние введения зависимости параллактических множителей P_x , P_y от блеска звезд на результаты определения ошибок УБ.

Определение УБ двумя методами. Вначале при помощи (1) и (3), (4) в каждой области неба были определены коэффициенты УБ, соответствующие двум методам его исследования. При этом в первом методе использовались вековые параллаксы звезд, полученные с исключением больших собственных движений звезд [2] (вариант 1^a) и без исключения таковых [11] (вариант 1^b). Соответствующие коэффициенты обозначались как a_x^a , a_y^a и a_x^b , a_y^b . Во всех случаях применялись одинаковые критерии отбора звезд в группы по блеску и исключения крупных собственных движений. В каждой из площадок неба образовано пять групп звезд с изменением блеска через 1^m , из которых исключены звезды с движениями более $0.05''$ в год.

Таблица 1. Результаты определения коэффициентов УБ различными методами (в $0.0001''$ в год)

Номер площадки [б]	$a_x^a \pm \varepsilon$	$a_x^a - a_x^b$	$a_x^a - a_x'$	$a_y^a \pm \varepsilon$	$a_y^a - a_y^b$	$a_y^a - a_y'$
1	-17 ± 9	+27	-4	-12 ± 7	-15	+4
3	$+46 \pm 13$	+28	-5	$+18 \pm 10$	-17	0
6	-14 ± 13	+36	-9	$+4 \pm 15$	-22	+5
7	$+33 \pm 8$	+5	-3	-42 ± 6	-3	0
11	-10 ± 15	+25	-6	-31 ± 11	-17	+2
12 ^a	$+37 \pm 6$	+18	+2	-55 ± 4	-16	-3
12 ^b	$+5 \pm 13$	+19	-4	-58 ± 7	-15	+4
13	$+32 \pm 15$	+24	-5	-19 ± 16	-17	-12
15	$+6 \pm 12$	+21	-6	-61 ± 11	-20	-1
46	-6 ± 13	-14	+1	$+13 \pm 6$	-17	+5
56	-7 ± 14	-21	+2	-30 ± 3	-24	0
65	-36 ± 13	-25	-1	-13 ± 12	-17	+1
73	$+31 \pm 3$	-26	+6	-9 ± 7	-18	-4
76	$+44 \pm 9$	-28	+10	-19 ± 9	-18	+5
92	$+20 \pm 15$	-21	+2	-4 ± 11	-17	-1
96	-7 ± 15	-30	+10	$+7 \pm 15$	-17	+4
104	$+25 \pm 12$	-19	+7	-45 ± 11	-18	+2
106	$+61 \pm 12$	-33	+7	-27 ± 11	-14	-1
110	$+16 \pm 15$	-24	+3	-21 ± 15	-4	+4
113	$+58 \pm 5$	-22	+2	-36 ± 8	-4	+2
117	$+7 \pm 5$	-23	-7	-20 ± 12	-13	+1
126	$+25 \pm 13$	-20	+12	-5 ± 6	+9	-13
128	$+26 \pm 2$	-18	-2	-31 ± 7	-13	+2
133	$+59 \pm 18$	-9	-10	$+11 \pm 4$	+1	-3
134	$+30 \pm 11$	+1	+5	-14 ± 8	+19	+4
201	-17 ± 6	+10	0	$+5 \pm 6$	-19	+2
152	-38 ± 9	+23	+4	$+25 \pm 8$	-15	-4
154	$+7 \pm 11$	+26	-6	-7 ± 7	-13	+3
155	-14 ± 12	+30	-12	-14 ± 13	-17	+11
157	$+42 \pm 16$	+29	+4	-25 ± 15	-15	+8

Значения коэффициентов УБ, найденные первым способом с применением вековых параллаксов [2], и средние квадратичные ошибки их определения приведены в табл. 1. Здесь также даны разности этих коэффициентов с полученными в варианте 1^b первым методом $a_x^a - a_x^b$, $a_y^a - a_y^b$, и вторым методом — $a_x^a - a_x'$, $a_y^a - a_y'$. Как видно по данным этой таблицы, УБ, найденное первым методом с использованием малых вековых параллаксов, хорошо согласуется с полученным по второму методу. Средние разности коэффициентов УБ — менее $0.0001''$ в год, а их дисперсия — $(0.0006''$ в год)². Аналогичные результаты были получены в работе [10], где проводилось сравнение двух методов исследования УБ, причем в первом применялись малые вековые парал-

лаксы по данным [9]. В то же время различные варианты первого метода приводят к более существенным расхождениям в значениях коэффициентов УБ. Средние квадратичные разности $\sqrt{\frac{(a_x^a - a_x^b)^2}{n-1}}$ и $\sqrt{\frac{(a_y^a - a_y^b)^2}{n-1}}$ составляют соответственно $\pm 0.0024''$ и $\pm 0.0016''$ в год. Средние значения этих разностей по $x - 0.0001'' \pm 0.0005''$ в год, по $y - 0.0013'' \pm 0.0004''$ в год.

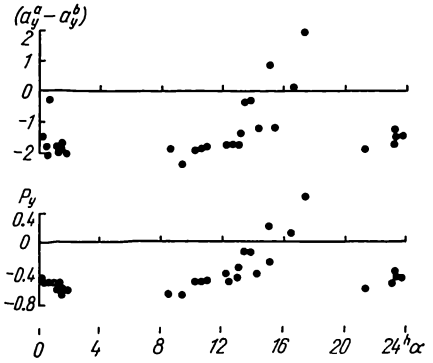
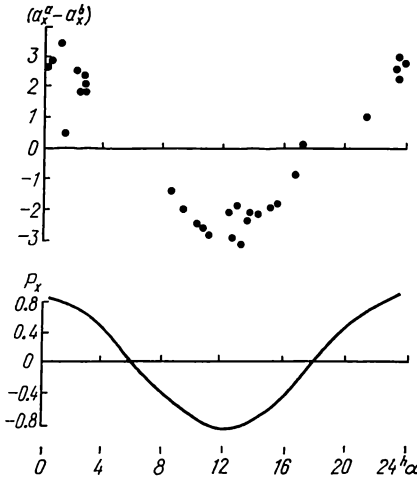


Рис. 1. Зависимость разностей коэффициентов УБ (даны в $0.001''$ в год) и параллактических множителей по координате x от прямого восхождения

Рис. 2. Зависимость разностей коэффициентов УБ (даны в $0.001''$ в год) и параллактических множителей по координате y от прямого восхождения

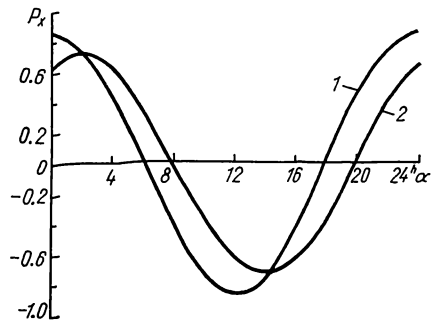
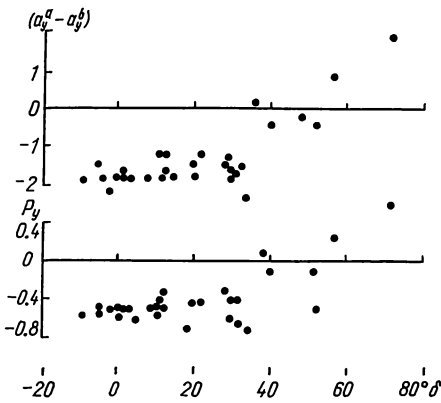


Рис. 3. Зависимость разностей коэффициентов УБ (даны в $0.001''$ в год) и параллактических множителей по координате y от склонения

Рис. 4. Зависимость параллактических множителей P_x от прямого восхождения при двух значениях координат апекса Солнца (1 — стандартный апекс, 2 — апекс относительно слабых звезд)

Эти выводы не являются неожиданными, так как используемые в двух вариантах первого метода вековые параллаксы имеют систематические различия, которые растут с увеличением галактической широты и блеска звезд. Разности в значениях коэффициентов УБ для конкретной области неба можно представить в виде:

$$a_x^a - a_x^b \approx \frac{\Delta\rho_{10} - \Delta\rho_0}{10 - m_0} P_x, \quad a_y^a - a_y^b \approx \frac{\Delta\rho_{10} - \Delta\rho_0}{10 - m_0} P_y, \quad (5)$$

где $\Delta\rho_{10}$, $\Delta\rho_0$ — разности вековых параллаксов звезд 10^m и опорных звезд, m_0 — средняя звездная величина последних. Отсюда видно, что изменение разностей УБ по x от одной площадки к другой должно соответствовать изменению P_x , а изменение разностей УБ по y — P_y , особенно если рассматривать области одинаковой широты (рис. 1—3 подтверждают это).

Анализ этих зависимостей показывает следующее: разности по x являются периодической функцией прямого восхождения, вследствие чего при равномерном распределении площадок по небу их среднее

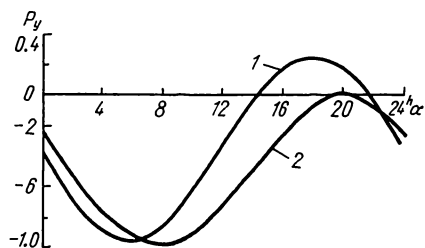


Рис. 5. Зависимость параллактических множителей P_y от прямого восхождения при двух значениях координат апекса Солнца и $\delta = +45^\circ$ (1 — стандартный апекс, 2 — апекс относительно слабых звезд)

значение близко к 0; разности по y зависят от прямого восхождения и склонения при α от 13^h до 16^h и $\delta > +35^\circ$, в остальных случаях они постоянны.

В среднем по всему каталогу коэффициенты УБ, определенные первым методом с использованием вековых параллаксов Дейча, составляют по x $+0.0015'' \pm 0.0004''$ в год, по y — $-0.0017'' \pm 0.0004''$ в год, с применением вековых параллаксов Биннендайк — $+0.0016'' \pm 0.0006''$ в год и $-0.0004'' \pm 0.0005''$ в год, вторым методом — $+0.0015'' \pm 0.0004''$ в год и $-0.0018'' \pm 0.0004''$ в год. Отметим, что в предыдущем каталоге

Таблица 2. Изменение коэффициентов УБ в результате введения зависимости параллактических множителей от блеска звезд

Номер площадки [5]	Разности коэффициентов УБ		Разности параллактических множителей	
	по x	по y	по x	по y
46	$-0.0012''$	$+0.0004''$	-0.40	+0.20
56	-0.0014	$+0.0003$	-0.40	+0.22
65	-0.0015	$+0.0006$	-0.36	+0.20
110	-0.0005	$+0.0020$	-0.19	+0.43
113	0	$+0.0017$	-0.04	+0.42
116	0	$+0.0018$	-0.02	+0.45
126	0	$+0.0013$	+0.10	+0.44
129	$+0.0002$	$+0.0015$	+0.14	+0.44
133	$+0.0006$	$+0.0015$	+0.24	+0.35
146	$+0.0012$	0	+0.36	+0.07

[8] средние коэффициенты УБ составляют по x $+0.0045''$ в год, по y — $-0.0035''$ в год. Одной из возможных причин изменения УБ могли стать разборки и сборки объектива астрографа, приведенные в период между созданием первого и второго каталогов.

Влияние учета зависимости параллактических множителей от блеска звезд на вывод ошибок УБ. Вначале проводилось сравнение значений параллактических множителей P_x , P_y , вычисленных по (2) при двух значениях координат апекса Солнца — стандартных ($A = 270^\circ$, $D = +30^\circ$) и относительно слабых звезд ($A = 298^\circ$, $D = +44^\circ$) — средние значения по данным работ [9, 12]. При этом α из-

менялось от 0^h до 24^h , δ — от -15° до $+90^\circ$. Зависимости P_x от α при стандартном положении апекса Солнца и при его значении относительно слабых звезд представлены на рис. 4. Аналогичные зависимости P_y от α были построены через 15° по δ . Зависимость P_y от α при $\delta = +45^\circ$ показана на рис. 5. В результате сравнения построенных зависимостей сделаны следующие выводы. Максимальные различия в P_x , равные $\pm 0.4 - 0.3$, достигаются в двух интервалах прямого восхождения ($6^h - 9^h$) и ($18^h - 21^h$). Максимальные различия в P_y , равные 0.4, наблюдаются при $\delta > +40^\circ$ и α от 12^h до 17^h . Чтобы выяснить как такие различия влияют на вывод коэффициентов УБ, в указанных выше интервалах координат было выбрано 10 областей неба, содержащихся в первом и втором каталогах собственных движений звезд. Исследование УБ в этих областях производилось первым методом с использованием вековых параллакс [2]. Однако при вычислении параллактических смещений звезд ярче 12.6^m применялся стандартный апекс, более слабых звезд — апекс относительно слабых звезд. Затем по разностям полученных таким образом параллактических смещений звезд и их средних собственных движений находились коэффициенты УБ, как и в обычном методе (1).

Разности коэффициентов УБ, найденные обычным способом и с применением различных значений положения апекса Солнца для ярких и слабых звезд, а также разности параллактических множителей $P_x^{яp} - P_x^{сл}$ и $P_y^{яp} - P_y^{сл}$ для каждой из площадок приведены в табл. 2.

Как видно по данным этой таблицы, различия в значениях коэффициентов УБ могут достигать $0.002''$ в год, что является существенной величиной. Таким образом, при исследовании УБ в областях неба со склонениями более $+40^\circ$, а также при всех δ в интервалах α $6^h - 9^h$, $18^h - 21^h$ нужно применять различные положения апекса Солнца при вычислении параллактических смещений звезд разной яркости.

1. Гуртовенко Э. А. К вопросу об ошибке «уравнения яркости» в астрометрии. — Изв. Глав. астрон. обсерватории АН УССР, 1957, 2, с. 95—111.
2. Дейч А. Н. Вековые параллаксы слабых звезд, выведенные из Пулковского каталога собственных движений звезд в площадках Каптейна. — Изв. Глав. астрон. обсерватории в Пулкове, 1947, 17, с. 2—59.
3. Дейч А. Н. Фотографическая астрометрия. — В кн.: Курс астрофизики и звездной астрономии. М.: Наука, 1973, т. 1, с. 178—271.
4. Дейч А. Н. Об учете уравнения блеска при определении собственных движений звезд. — Астрон. циркуляр, 1981, № 1191, с. 4—7.
5. Дейч А. Н., Лавдовский В. В., Фатчихин Н. В. Каталог 1508 внегалактических туманностей в 157 площадках неба зоны от 90° до -5° склонения, избранных для определения собственных движений звезд. — Изв. Глав. астрон. обсерватории в Пулкове, 1955, 20, с. 14—46.
6. Иванов Г. А. Влияние «уравнения блеска» на положения звезд по наблюдениям на двойном длиннофокусном астрографе ГАО АН УССР. — Киев, 1978.—34 с. — (Рукопись деп. в ВИНТИ 10.01.79, № 89—79 Деп).
7. Пантелева Л. П. Использование наблюдений галактик на $15''$ астрографе ГАИШ для улучшения систем собственных движений: Автореф. дис. ... канд. физ.-мат. наук. — М., 1976.—15 с.
8. Рыбка С. П. Каталог собственных движений звезд в избранных площадках неба с галактиками. — Киев, 1978.—Ч. 1. 72 с. — (Рукопись деп. в ВИНТИ 13.12.78, № 3792—78 Деп).
9. Фатчихин Н. В. Вековые параллаксы звезд и скорость Солнца в пространстве по абсолютным собственным движениям 14 600 звезд относительно галактик. — Астрон. журн., 1973, 50, с. 377—389.
10. Харченко Н. В. Учет уравнения блеска при определении собственных движений звезд. — Астрометрия и астрофизика, 1984, вып. 52, с. 3—8.
11. Binnendijk L. Mean parallaxes of faint stars derived from a combination of the Pulkovo and Radcliffe catalogues of proper motions. — Bull. Astron. Inst. Neth., 1943, 10, p. 9—18.
12. Klemola A. R., Vasilevskis S. A study of solar motion and galactic rotation. — Pubs. Lick Observ., 1971, 22, p. 3, p. 1—13.