

УДК 523.3—332

**Влияние систематических поправок к высотам
в картах краевой зоны на определение нуль-пунктов
звездных каталогов, параметров движения и вращения Луны**

Л. Н. Кизюл

Предложена методика получения систематических поправок к высотам в картах краевой зоны, основанная на предположении о зависимости видимого радиуса Луны от либрации в широте на северном и южном краях Луны и от либрации в долготе на западном и восточном ее краях. Зависимость видимого радиуса от либрации изучена путем сравнения поправок эксцентриситета и наклонности лунной орбиты к эклиптике для разных краев Луны.

На основании обработки вашингтонских меридианных наблюдений найдено положение центра поверхности относимости высот в картах Уоттса по отношению к эфемеридному центру масс. Получена формула для систематических поправок к высотам карт Уоттса. Учет этих поправок при обработке позиционных наблюдений Луны существенно влияет на параметры движения, вращения Луны, положения нуль-пункта системы координат по склонению.

THE INFLUENCE OF SYSTEMATIC CORRECTIONS TO THE LIMB-PROFILE HEIGHTS IN THE MARGINAL ZONE CHARTS UPON THE DERIVATION OF ZERO-POINTS, THE MOTION AND ROTATION PARAMETERS OF THE MOON, by Kizyul L. N.—A procedure for determining the systematic corrections to the limb-profile heights in marginal zone charts of the Moon is suggested. It is based on the assumption that the apparent lunar semidiameter depends on the libration in latitude for north and south limbs as well as on the libration in longitude for west and east limbs. The dependence of the apparent radius on the libration is studied by comparing the eccentricity and inclination corrections of the lunar orbit for different limbs. On the basis of reduction of Washington meridian observations the position of the centre of reference data on the Watts charts is obtained with respect to the ephemeris centre of mass. The expression is obtained for systematic corrections to the limb-profile heights in the Watts charts. Application of these corrections when processing the lunar observations affects essentially the motion and rotation parameters as well as zero-point of declination.

Установленная в 1934 г. А. А. Яковкиным [7], а затем подтвержденная обработкой фотографических, меридианных и гелиометрических наблюдений, зависимость видимого радиуса Луны от оптической либрации в широте всегда приписывалась только южному краю, как имеющему наиболее неоднородный рельеф. Но из многочисленных исследований известно, что фигура Луны является довольно сложной. Естественней сделать более общее предположение, что радиус Луны для северного и южного краев зависит от либрации в широте b , а для западного и восточного — от либрации в долготе l . В связи с этим определяемая из наблюдений поправка к эфемеридному радиусу $\Delta R_{\varepsilon i}$ имеет вид:

$$\Delta R_{\varepsilon i} = \Delta R_{0i} + k_i b \quad (i = 1, 2),$$

$$\Delta R_{\varepsilon i} = \Delta R_{0i} + k_i l \quad (i = 3, 4).$$
(1)

Здесь $i=1$ — северный, $i=2$ — южный, $i=3$ — западный, $i=4$ — восточный края Луны; ΔR_{0i} — постоянная для каждого края поправка к среднему радиусу Луны, а k_i — коэффициенты, характеризующие зависимость поправки радиуса от либрации в широте и долготе.

При составлении карт краевой зоны, кроме карт А. А. Нефедьева [5], зависимость радиуса от либрации не учитывалась, поэтому естественно ожидать, что поверхность относимости высот в картах может

отличаться от сферы, а радиусы сечений этой поверхности для различных либраций неодинаковы. В связи с этим и в высотах, отсчитываемых от уровенной поверхности карт краевой зоны, следует ожидать наличия систематических поправок вида:

$$\begin{aligned}\Delta h_{\delta i} &= \Delta h_{0i} + k'_i b \quad (i = 1, 2), \\ \Delta h_{\alpha i} &= \Delta h_{0i} + k'_i l \quad (i = 3, 4),\end{aligned}\quad (2)$$

где Δh_{0i} — постоянные для каждого края, а $k'_i b$, $k'_i l$ — зависящие от либраций поправки к высотам карт краевой зоны.

Согласно [2], либрации в долготе и широте можно представить в виде:

$$l \approx 6.3^\circ \sin g, \quad b \approx -6.7^\circ \sin(\lambda - \Omega). \quad (3)$$

Здесь g — средняя аномалия Луны, а $(\lambda - \Omega)$ — разность геоцентрической долготы Луны и средней долготы ее узла. Тогда формулы (2) перепишутся так:

$$\Delta h_{\delta i} = \Delta h_{0i} - 6.7^\circ k'_i \sin(\lambda - \Omega), \quad \Delta h_{\alpha i} = \Delta h_{0i} + 6.3^\circ k'_i \sin g. \quad (4)$$

Если включить неизвестные систематические поправки высот, представленные зависимостями (4) в уравнения из [3] для определения разности эфемеридного и всемирного времени, поправок к элементам орбиты и поправок нуль-пунктов каталога, то получим:

$$\begin{aligned}\Delta \alpha_{ki} &= -\Delta \alpha_0 \sec \delta \mp \Delta h_{0i} \sec \delta + 2f_{e1}(\Delta e \mp 3.14k'_i + az_0) \sin g \sec \delta + \\ &+ f_{\Pi 1}(2e\Delta\Pi) + f_{P1}\Delta\bar{P} + f_{\Omega 1}(\sin i\Delta\Omega) + f_{i1}(\Delta i + bz'_0) + \frac{15D\alpha}{3590.170} \Delta T,\end{aligned}\quad (5)$$

$$\begin{aligned}\Delta \delta_{ki} &= -\Delta \delta_0 \pm \Delta h_{0i} + f_{i2}(\Delta i \mp 6.7k'_i + bz'_0) \sin(\lambda - \Omega) + 2f_{e2}(\Delta e + az_0) + \\ &+ f_{\Pi 2}(2e\Delta\Pi) + f_{P2}\Delta\bar{P} + f_{\Omega 2}(\sin i\Delta\Omega) + \frac{D\delta}{3590.170} \Delta T,\end{aligned}$$

где «+» соответствует северному и восточному, а «-» — южному и западному краям Луны. Здесь $\Delta \alpha_0$, $\Delta \delta_0$ — постоянные поправки прямых восхождений и склонений в близэкваториальной зоне; Δe , Δi , $\Delta\Pi$, $\Delta\Omega$ — поправки эксцентриситета, наклона орбиты к эклиптике, перигея и узла лунной орбиты; $\Delta\bar{P}$ — поправка к параллактическому неравенству; ΔT — разность эфемеридного и всемирного времени; $D\alpha$, $D\delta$ — часовые изменения прямого восхождения и склонения Луны; az_0 , bz'_0 — радиальные составляющие смещения центра поверхности относимости карт по отношению к эфемеридному центру масс. Неизвестные az_0 и bz'_0 введены в уравнения (5) по результатам работ [6, 9]. При этом предполагается, что az_0 и bz'_0 одинаковы для диаметрально противоположных краев лунного диска. Выражения для коэффициентов f_{e1} , $f_{\Pi 1}$, f_{P1} , $f_{\Omega 1}$, f_{i1} , f_{e2} , $f_{\Pi 2}$, f_{P2} , $f_{\Omega 2}$, f_{i2} можно найти в [3]. Они зависят от элементов орбиты Луны и экваториальных координат Луны α , δ .

Решение уравнений (5) для соответствующих краев дает суммарные поправки:

$$\begin{aligned}\Delta \alpha_{1i} &= -\Delta \alpha_0 \mp \Delta h_{0i} \quad (i = 3, 4), \\ \Delta e_{0i} &= \Delta e \mp 3.14k'_i + az_0 \quad (i = 3, 4), \\ \Delta \delta_{1i} &= -\Delta \delta_0 \pm \Delta h_{0i} \quad (i = 1, 2), \\ \Delta i_{0i} &= \Delta i \mp 6.7k'_i + bz'_0 \quad (i = 1, 2).\end{aligned}\quad (6)$$

Величина поправки склонения в близэкваториальной зоне $\Delta \delta_0$ довольно хорошо определена для фундаментального каталога FK4, в системе

которого в настоящее время публикуются наблюдения, и составляет несколько сотых долей секунды дуги. Поэтому, принимая во внимание малые размеры этой поправки по сравнению с поправкой Δh_{0i} и высокую точность ее вычисления, примем в (6) $\Delta \delta_0 = 0$. Тогда

$$\Delta h_{0i} = \pm \Delta \delta_{1i} \quad (i = 1, 2). \quad (7)$$

Вычисления показывают, что неизвестные $\Delta \alpha_0$ и Δh_{0i} практически не разделяются, а коэффициент корреляции между этими неизвестными и поправкой ΔT составляет 0.997. Учитывая наличие существенных корреляционных связей между рассмотренными неизвестными, а также замечания по этому поводу, высказанные в [10], считаем, что в уравнения (5) нецелесообразно включать наряду с ΔT еще поправки $\Delta \alpha_0$ и Δh_{0i} ($i = 3, 4$).

С учетом сказанного выше, уравнения (5) переписутся так:

$$\Delta \alpha_{ki} = 2f_{e1} (\Delta e \mp 3.14k'_i + az_0) \sin g \sec \delta + f_{i1} (\Delta i + bz'_0) + \frac{15D\alpha}{3590.170} \Delta T + \dots, \quad (8)$$

$$\Delta \delta_{ki} = \Delta \delta_{1i} + f_{i2} (\Delta i \mp 6.7k'_i + bz'_0) \sin (\lambda - \Omega) + 2f_{e2} (\Delta e + az_0) + \frac{D\delta}{3590.170} \Delta T + \dots$$

Для сокращения записи в (8) опущены члены с остальными неизвестными.

Из уравнений (8) можно найти следующие комбинации:

$$\Delta e \mp 3.14k'_i + az_0 = \Delta e_{0i}, \quad \Delta i + bz'_0 = \Delta i_{0i} \quad (i = 3, 4) \quad (9)$$

по разностям $\Delta \alpha$ и

$$\Delta e + az_0 = \Delta e_{0i}, \quad \Delta i \mp 6.7k'_i + bz'_0 = \Delta i_{0i} \quad (i = 1, 2) \quad (10)$$

по разностям $\Delta \delta$, где Δe и Δi — истинные поправки, а Δe_{0i} , Δi_{0i} — поправки, найденные из обработки. Разность первых соотношений и разность вторых соотношений из (9) и (10) позволяет найти значения всех k'_i , если Δe_{0i} и Δi_{0i} определены из решения систем (8) отдельно по каждому краю

$$k'_1 = \frac{\Delta i_{0i(\Delta \alpha)} - \Delta i_{01}}{6.7}, \quad k'_2 = - \frac{\Delta i_{0i(\Delta \alpha)} - \Delta i_{02}}{6.7}, \quad (11)$$

$$k'_3 = - \frac{\Delta e_{03} - \Delta e_{0i(\Delta \delta)}}{3.14}, \quad k'_4 = \frac{\Delta e_{04} - \Delta e_{0i(\Delta \delta)}}{3.14}.$$

Поскольку в (9) второе соотношение, а в (10) первое соотношение одинаковы для противоположных краев, то при вычислении k'_i по формулам (11) можно воспользоваться значениями $\Delta i_{0i(\Delta \alpha)}$, найденными из совместного решения системы для западного и восточного краев и значениями $\Delta e_{0i(\Delta \delta)}$, найденными из совместного решения системы для северного и южного краев.

Если же воспользоваться уравнениями (6), то можно получить суммарные значения коэффициентов, которые ранее вычислялись, например, в [8]:

$$k'_1 + k'_2 = \frac{\Delta i_{02} - \Delta i_{01}}{6.7}, \quad k'_3 + k'_4 = \frac{\Delta e_{04} - \Delta e_{03}}{3.14}. \quad (12)$$

Таким образом, описанная методика позволяет определить Δh_{0i} ($i = 1, 2$) и значения коэффициентов k'_i для каждого края, а затем найти выражения для поправок высот в зависимости от оптических либраций. Она может быть применена для исследования карт краевой зоны

по меридианным и фотографическим наблюдениям краев Луны, а также по наблюдениям покрытий звезд Луной. Исходным материалом для использования этой методики служат разности наблюденных и вычисленных прямых восхождений и склонений.

В нашей работе изложенная методика применена для исследования карт краевой зоны, составленных Уоттсом, на основе меридианных наблюдений Луны, выполненных в Морской обсерватории США в 1925—1968 гг. [13]. Значения коэффициентов, полученных по формулам (11) и (12) приведены в табл. 1. Поправки к высотам найдены по (2) с учетом сделанных нами допущений при выводе уравнений (8) о том, что $\Delta\delta_0=0$, $\Delta h_{0i}=0$ ($i=3, 4$):

$$\Delta h_{\delta i} = \pm \Delta\delta_{1i} + k'_i b \quad (i = 1, 2), \quad (13)$$

$$\Delta h_{\alpha i} = k'_i l \quad (i = 3, 4).$$

После подстановки в (13) значений $\Delta\delta_{11}$, $\Delta\delta_{12}$ из работы [3] и k'_i , согласно табл. 1, имеем:

$$\begin{aligned} \Delta h_1 &= -0.193'' + 0.092''b, & \Delta h_2 &= 0.423 - 0.030b, & \Delta h_3 &= 0.024l, \\ \Delta h_4 &= 0.008l. \end{aligned} \quad (14)$$

Очевидно, что высоты карт на южном и северном краях Луны нуждаются в поправках, которые по абсолютной величине могут достигать $0.8''$. Поправки существенно зависят от либраций. Это свидетельствует о том, что поверхность относимости высот в картах Уоттса не является сферой, а сечения этой поверхности плоскостью при различных либрациях можно представить в первом приближении окружностями различного радиуса, центры которых смещены друг относительно друга.

Воспользовавшись выражениями $\Delta h_{\alpha i}$, $\Delta h_{\delta i}$ из (13), попытаемся определить взаимные положения центров сечений поверхности относимости высот для различных либраций и эфемеридного центра масс, считая фигуру сечения окружностью. Пусть начало координат системы $хоу$ находится в центре окружности, принимаемой за сечение поверхности относимости высот в картах краевой зоны, ось x направлена к северному полюсу Луны, а ось y — к востоку для наблюдателя, находящегося на Земле.

Таблица 1. Коэффициенты, характеризующие зависимость видимого радиуса Луны от либрации

Коэффициенты	Без карт	С картами Уоттса
k'_1	$+0.018'' \pm 0.009''$	$+0.092'' \pm 0.007''$
k'_2	$+0.021 \pm 0.009$	-0.030 ± 0.007
$k'_1 + k'_2$	$+0.039 \pm 0.005$	$+0.062 \pm 0.005$
k'_3	$+0.062 \pm 0.010$	$+0.024 \pm 0.008$
k'_4	$+0.012 \pm 0.010$	$+0.008 \pm 0.008$
$k'_3 + k'_4$	$+0.073 \pm 0.005$	$+0.032 \pm 0.004$

Начало системы $x'o'y'$ совместим с эфемеридным центром масс, а направление осей выберем параллельным направлению соответствующих осей системы $хоу$. Координаты j -ой точки края в системе $хоу$ будут $x_j = R \cos \Pi_j$, $y_j = R \sin \Pi_j$, а в системе $x'o'y'$ — $x'_j = R \cos \Pi_j - x_0$, $y'_j = R \sin \Pi_j - y_0$, где R — радиус окружности, которой аппроксимируется профиль карт, Π_j — позиционный угол j -ой точки, отсчитываемый от оси x , x_0 , y_0 — координаты эфемеридного центра масс по отношению к центру поверхности относимости карт.

Расстояние j -ой точки от начала системы координат $x'o'y'$

$$S_j = [(R \cos \Pi_j - x_0)^2 + (R \sin \Pi_j - y_0)^2]^{1/2}.$$

С другой стороны, $S_j = R_3 + \Delta h_j$. Здесь R_3 — радиус эфемеридной окружности, а Δh_j — уклонения сечений поверхности относимости карт от эфемеридной окружности, или, другими словами, систематические поправки, которые необходимо учесть, чтобы привести высоты в картах к поверхности эфемеридного радиуса.

После несложных преобразований, пренебрегая величинами второго порядка малости относительно x_0 и y_0 , получим уравнения

$$\Delta h_0 - x_0 \cos \Pi_j - y_0 \sin \Pi_j = \Delta h_j, \quad (15)$$

где $\Delta h_0 = R - R_3$, $\Pi_j = p_j - C_j$ (p_j — позиционный угол j -ой точки края, отсчитываемый от оси склонений, а C_j — позиционный угол лунной оси вращения). После подстановки Δh_j из (13), полагая их одинаковыми для всей зоны каждого края, размером $16^\circ \times 50^\circ$, и принимая для меридианных наблюдений $p_j = 0, 90^\circ, 180^\circ, 270^\circ$, получим:

$$\begin{aligned} \Delta \delta_{11} + k'_1 b &= \Delta h_0 - x_0 \cos C_j + y_0 \sin C_j, \\ -\Delta \delta_{12} + k'_2 b &= \Delta h_0 + x_0 \cos C_j - y_0 \sin C_j, \end{aligned} \quad (16)$$

$$k'_3 l = \Delta h_0 + x_0 \sin C_j + y_0 \cos C_j, \quad k'_4 l = \Delta h_0 - x_0 \sin C_j - y_0 \cos C_j.$$

Решив систему условных уравнений (16) по способу наименьших квадратов, найдем выражения для x_0 , y_0 , Δh_0 :

$$x_0 = \frac{1}{2} \{[-(\Delta \delta_{11} + \Delta \delta_{12}) + (k'_2 - k'_1) b] \cos C_j + (k'_3 - k'_4) l \sin C_j\}, \quad (17)$$

$$y_0 = \frac{1}{2} \{[(\Delta \delta_{11} + \Delta \delta_{12}) + (k'_1 - k'_2) b] \sin C_j + (k'_3 - k'_4) l \cos C_j\},$$

$$\Delta h_0 = \frac{1}{4} [\Delta \delta_{11} - \Delta \delta_{12} + (k'_1 + k'_2) b + (k'_3 + k'_4) l].$$

После подстановки значений $\Delta \delta_{11}$, $\Delta \delta_{12}$ из [3] и k'_1, \dots, k'_4 из табл. 1 имеем:

$$\begin{aligned} x_0 &= (0.308'' - 0.061'' b) \cos C_j + 0.008'' l \sin C_j, \\ y_0 &= -(0.308 - 0.061 b) \sin C_j + 0.008 l \cos C_j, \\ \Delta h_0 &= 0.058 + 0.016 b + 0.008 l. \end{aligned} \quad (18)$$

Анализируя полученные результаты, можно отметить, что центр поверхности относимости карт Уоттса находится юго-восточнее эфемеридного центра масс Луны в среднем на $0.3''$. В зависимости от либраций взаимное положение центров сечений поверхности относимости и эфемеридного центра масс изменяется в интервале $-0.69'' \div 0.14''$ по склонению и $-0.11'' \div 0.40''$ по прямому восхождению. Воспользовавшись значениями x_0 , y_0 , Δh_0 из (18) и уравнением (15), получим теперь общую формулу для систематических поправок к высотам карт краевой зоны

$$\Delta h = 0.058'' + 0.016'' b + 0.008'' l - (0.308'' - 0.061 b) \cos p - 0.008'' l \sin p, \quad (19)$$

где p — позиционный угол, отсчитываемый от направления на северный полюс мира.

Как уже упоминалось, при выводе формул (18) и (19) постоянная поправка радиуса в направлении восток — запад не учитывается ввиду того, что при раздельной обработке наблюдений западного и восточного краев она не разделяется с поправкой ΔT . Поэтому формулы (18) и (19) можно считать строгими лишь с точностью до величин поправок Δh_{03} , Δh_{04} . Если приписать зависимость поправки радиуса от либрации или систематических поправок к высотам в картах только

южному краю, как это делалось раньше, то формула для систематических поправок будет иметь вид

$$\Delta h = 0.058'' + 0.016''b + 0.008''l - (0.308'' + 0.031''b) \cos p - 0.008''l \sin p. \quad (20)$$

Отметим, что формула (19) основана на более общей гипотезе о зависимости систематических поправок высот от либрации в широте на северном и южном, а также от либраций в долготе на западном и восточном участках краевой зоны Луны. В связи с этим использование формулы (19) для обработки наблюдений Луны более оправдано, чем формулы (20).

Таблица 2. Поправки к постоянным физической либрации и координатам кратера Мёстинг А

Неизвестные	Ряд Шлютера ($f_0=0.60$)		
	A	B	C
$d\lambda$	$+34.3'' \pm 8.9''$	$49.4'' \pm 8.9''$	$+31.9'' \pm 8.9''$
$d\beta$	-32.6 ± 8.0	-100.2 ± 8.1	-107.2 ± 8.0
dh	$+0.74 \pm 0.37$	$+0.41 \pm 0.37$	$+0.76 \pm 0.37$
dI	-79.6 ± 12.7	-158.2 ± 12.7	-37.6 ± 12.6
dR	$+0.21 \pm 0.02$	$+0.16 \pm 0.02$	$+0.17 \pm 0.02$
k	$+0.020 \pm 0.004$	$+0.001 \pm 0.004$	$+0.005 \pm 0.004$
df	-0.06 ± 0.02	-0.01 ± 0.02	-0.02 ± 0.02
σ	± 0.59	± 0.59	± 0.59
n	1066	1066	1066

Неизвестные	Ряд Нефедьева ($f=0.73$)		
	A	B	C
$d\lambda$	$-34.3'' \pm 8.5''$	$-47.8'' \pm 8.5''$	$-47.0'' \pm 8.5''$
$d\beta$	-91.6 ± 7.6	-158.4 ± 7.6	-168.1 ± 7.6
dh	$+0.30 \pm 0.32$	-0.48 ± 0.32	-0.22 ± 0.32
dI	-11.7 ± 12.1	-84.4 ± 12.1	$+45.8 \pm 12.1$
dR	-0.17 ± 0.02	-0.23 ± 0.02	-0.22 ± 0.02
k	$+0.011 \pm 0.004$	-0.006 ± 0.004	-0.002 ± 0.004
df	$+0.11 \pm 0.02$	$+0.16 \pm 0.02$	$+0.16 \pm 0.02$
σ	± 0.72	± 0.72	± 0.72
n	1633	1633	1633

Контроль правильности вычислений и эффективности учета поправок был осуществлен путем решения уравнений (5) для разности наблюдаемых и вычисленных прямых восхождений и склонений вагингтонского меридианного ряда с учетом систематических поправок по формулам (19). Как и следовало ожидать, существенно изменились оценки неизвестных $\Delta \delta_1$ и Δl . Величина поправки склонения $\Delta \delta_1$ стала равной $0.003''$. Следовательно, учет систематических поправок к высотам приводит к исчезновению постоянной части смещения между центрами поверхности относимости карт и эфемеридным центром масс. Учитывая это, меридианные наблюдения Луны можно использовать для уточнения нуля-пункта системы координат по склонению. Поправка наклонности после учета систематических поправок равна $0.087''$, а поправка эксцентриситета $-0.030''$. Величины коэффициентов k_i' для каждого края Луны уменьшаются до размеров ошибок их вычисления.

В работе также исследовано влияние систематических поправок к высотам краевой зоны карт Уоттса на определение параметров вращения Луны и селенографических координат кратера Мёстинг А. С этой целью по методу Козела [11] обработано два гелиометрических ряда наблюдений Луны: ряд Шлютера (1841—1843 гг.) и ряд Нефедьева (1946—1958 гг.). За начальные значения постоянных физи-

ческой либрации и координат кратера Мёстинг А выбраны величины согласно Гайну: $\lambda_0 = -5^{\circ}10'07''$, $\beta_0 = -3^{\circ}11'02''$, $h = 15'33.4''$, $I = 1^{\circ}32'20''$. Каждый ряд обрабатывался в трех вариантах. Вариант А соответствует определению поправок к селенографическим координатам кратера Мёстинг А $d\lambda$, $d\beta$, dh , наклонности лунного экватора к эклиптике dI , радиусу Луны dR , параметру моментов инерции df и коэффициента k , характеризующего изменения радиуса Луны с либрацией, с учетом только мелкого рельефа по картам Уоттса. Вариант В отличается от варианта А дополнительным учетом в наблюдениях систематических поправок к высотам по формуле (19). В варианте С учитывались кроме высот по картам Уоттса систематические поправки к высотам по формуле (20). Оценки неизвестных для каждого варианта представлены в табл. 2.

Таблица 3. Поправки к постоянным физической либрации и координатам кратера Мёстинг А

Неизвестные	Ряд Шлютера ($f_0=0.73$)		
	А	С	Д
$d\lambda$	$+20.8'' \pm 9.1''$	$+18.5'' \pm 8.9''$	$+23.8'' \pm 9.0''$
$d\beta$	-40.8 ± 8.1	-114.5 ± 8.0	-84.1 ± 8.1
dh	$+0.50 \pm 0.38$	$+0.53 \pm 0.38$	$+0.49 \pm 0.38$
dI	-74.9 ± 13.0	-33.0 ± 12.8	-69.9 ± 12.9
dR	$+0.21 \pm 0.02$	$+0.17 \pm 0.02$	$+0.19 \pm 0.02$
k	$+0.020 \pm 0.004$	$+0.004 \pm 0.004$	$+0.007 \pm 0.004$
df	-0.13 ± 0.02	-0.08 ± 0.02	-0.11 ± 0.02
σ	± 0.60	± 0.60	± 0.60

Кроме того, изучено влияние систематических поправок к высотам краевой зоны карт Уоттса на определение параметров вращения Луны и селенографических координат кратера Мёстинг А с использованием формулы для поправок высот из работы [12], полученной на основе наблюдений покрытий звезд Луной

$$\Delta h = \Delta r_0 + \Delta x \sin \Pi + \Delta y \cos \Pi + \Delta r \cos 2\Pi. \quad (21)$$

Здесь Δr_0 — постоянная часть поправки к высотам края в картах Уоттса, $-\Delta x$, $-\Delta y$ — значения поправок, на которые необходимо сдвинуть центр поверхности в картах для наилучшего согласования их профиля с наблюдениями, Δr — поправка за эллиптичность поверхности относимости высот в картах Уоттса, а Π — позиционный угол точки края от оси, направленной на северный полюс Луны. Значения поправок Δr_0 , Δx , Δy , Δr для каждой либрации в широте и долготе находятся по специальным картам, опубликованным в [12]. Как отмечалось в работе [12], формулой (21) можно пользоваться для всей краевой зоны, кроме областей, находящихся на расстоянии $\pm 10^{\circ}$ от северного полюса Луны. Поскольку для гелиометрического ряда Шлютера только 11 % измерений приходится на эти области, то, по-видимому, он может быть обработан с учетом поправок к высотам по формуле (21). Результаты обработки этого ряда с учетом редуций по картам Уоттса и поправок к ним по формуле (21) представлены вариантом Д в табл. 3.

Сравнение оценок неизвестных для вариантов А, В, С и Д из табл. 2 и 3 свидетельствует о том, что учет поправок к высотам карт Уоттса при обработке гелиометрических наблюдений приводит к изменению поправки селенографической широты $d\beta$ кратера Мёстинг А на $-67'' \div -76''$, а поправки наклонности лунного экватора к эклиптике на $-73'' \div -79''$ (варианты В из табл. 2) и на $+42'' \div +57''$ (варианты

С из табл. 2 и 3). Поправки к высотам, найденные по наблюдениям покрытий звезд Луной, практически не оказывают влияния на определение поправки наклонности экватора Луны. Кроме того, учет поправок к высотам карт практически устраняет зависимость наблюденного радиуса от либрации, о чем свидетельствует уменьшение коэффициента либрации k в табл. 2 и 3 до размеров ошибок его вычисления. Изменения других неизвестных находятся в пределах ошибок их вычисления. Увеличение поправки функции моментов инерции Луны df в вариантах B и C произошло, по-видимому, вследствие выбора различной системы отсчета позиционных углов в формулах (19), (20) по сравнению с формулами (21).

Из перечисленных выше фактов заслуживает особого внимания изменение оценок поправки наклонности лунного экватора к эклиптике. Найденная система поправок к высотам карт из меридианных наблюдений вида (19) уменьшает наклонность, что противоречит результатам ее определения из гелиометрических, лазерных наблюдений Луны и измерений с помощью длиннобазисной радиоинтерферометрии [1, 4]. С другой стороны, если принять гипотезу о том, что радиус поверхности относимости высот в картах Уоттса зависит от либрации только в южной части краевой зоны Луны, согласно выражению (20), то поправка наклонности dI увеличивается в варианте C по сравнению с вариантом A , что согласуется с данными других исследований [1]. Однако принятие такой гипотезы является дискуссионным вопросом, так как по меридианным наблюдениям большой либрационный эффект наблюдается также на северном краю. И, наконец, система поправок к высотам вида (21), найденная по наблюдениям покрытий звезд Луной, вообще не влияет на определение наклонности экватора Луны к эклиптике. На основании изложенного выше очевидно, что каждый способ наблюдений (меридианный, гелиометрический, фотографический и покрытий звезд Луной) вносит свои систематические ошибки в результате наблюдений края Луны. В связи с этим использование какого-либо из указанных видов наблюдений края Луны для определения поправок к высотам карт краевой зоны не может дать окончательных результатов. По этим же соображениям нельзя признать оправданным составление карт по одному виду наблюдений, например по фотографическим или гелиометрическим. По нашему мнению, составление карт краевой зоны, на которых высоты были бы отнесены к сфере одного радиуса, возможно на основе фотографических, гелиометрических, меридианных наблюдений и покрытий звезд Луной.

В заключение следует отметить, что высоты в картах краевой зоны Уоттса имеют систематические ошибки, которые существенно влияют на определение ряда элементов орбиты, параметров физической либрации, селенографических координат кратера Мёстинг А, нуль-пунктов звездного каталога. Поэтому для дальнейшего уточнения теории движения и вращения Луны, а также при использовании ее позиционных наблюдений для уточнения нуль-пунктов звездных каталогов необходимо составить новые или улучшить существующие карты краевой зоны, используя различные методы наблюдений.

1. Белькович И. В. Физическая либрация Луны.— Изв. астрон. обсерватории им. Энгельгардта, 1949, № 24, с. 1—246.
2. Дума Д. П., Кизюн Л. Н. О точности наблюдений Луны, редуцированных за мелкий рельеф по картам Уоттса.— В кн.: Тр. 18-й астрометр. конф. СССР, М., Л., 1972, с. 315—320.
3. Кизюн Л. Н. Систематические ошибки карт Уоттса и их влияние на определение орбитальных элементов Луны.— Астрометрия и астрофизика, 1973, вып. 18, с. 9—20.
4. Кислюк В. С. Точность внешней ориентировки селенодизической координатной системы.— Астрометрия и астрофизика, 1983, вып. 48, с. 71—78.
5. Нефедьев А. А. Карты рельефа краевой зоны Луны на общем нулевом уровне.— Изв. астрон. обсерватории им. Энгельгардта, 1958, № 30, с. 1—157.

6. Фомин В. А. О влиянии некоторых особенностей видимой фигуры Луны на результаты обработки ее меридианных наблюдений.— Изв. Гл. астрон. обсерватории в Пулкове, 1980, № 197, с. 43—49.
7. Яковкин А. А. Радиус и форма Луны.— Бюл. астрон. обсерватории им. Энгельгардта, 1934, № 4, с. 3—15.
8. Яковкин А. А. Наклонность лунной орбиты и либрационный эффект.— Публ. Киев. астрон. обсерватории, 1950, № 4, с. 71—88.
9. Flandern V. C. Some notes on the use of the Watts limb-correction charts.— Astron. J., 1970, 75, N 6, p. 744—746.
10. Klock B. L., Scott D. K. Orientation of the FK4 catalogue from meridian observations.— Astron. J., 1970, 75, N 7, p. 851—856.
11. Koziel K. The Moon's libration and figure as derived from Hartwig's Dorpat heliometric observations.— Acta Astron., 1948—1949, 4, p. 61—82.
12. Morrison L. V., Appleby G. M. Analysis of lunar occultations. III. Systematic corrections to Watts' limb-profiles for the Moon.— Mon. Notic. Roy. Astron. Soc., 1981, 196, p. 1013—1020.
13. Publications of the United States Naval Observatory, 1969, 19, P. 3, 498 p.

Главная астрономическая обсерватория АН УССР,
Киев

Поступила в редакцию
16.07.1984

РЕФЕРАТ ДЕПОНИРОВАННОЙ РУКОПИСИ

УДК 520.254—13+523.9—323.2+523.4—323.2

Лазоренко П. Ф., Миняйло Н. Ф., Ненахова Е. М., Харин А. С.

СКЛОНЕНИЯ СОЛНЦА И БОЛЬШИХ ПЛАНЕТ, ПОЛУЧЕННЫЕ ИЗ НАБЛЮДЕНИЙ НА ВЕРТИКАЛЬНОМ КРУГЕ ВАНШАФФА В ГОЛОСЕЕВО В 1977—1979 гг.

(Рукопись депонирована в ВИНТИ, № 6533—84 Деп.)

В статье приводятся результаты наблюдений планет и Солнца, выполненных на вертикальном круге Ваншаффа в Голосеево. За период с 14 сентября 1977 г. по 12 апреля 1979 г. получено 66 склонений Солнца, 7 — Меркурия, 43 — Венеры, 37 — Марса, 39 — Юпитера, 38 — Сатурна, 8 — Урана, 1 — Нептуна.

Солнце, Меркурий и Венера наблюдались в дневное время, сквозь солнцезащитную ширму, остальные объекты — в ночное время. Наблюденные склонения приведены к центру диска с помощью поправок за фазу $\Delta\Phi$, а полученные по одному краю — еще и поправками за эфемеридный радиус Δr . Произведено сравнение наблюдаемых склонений с эфемеридными (принтерполированными из А. Е., т. е. с теорией Ньюкома), получены разности ($O-C$).

Геоцентрические наблюдаемые склонения, поправки $\Delta\Phi$ и Δr , разности ($O-C$), а также даты по UT и JET , наблюдатель, исходное положение инструмента, наблюдавшийся край диска, параллакс, количество опорных звезд приведены в восьми таблицах.

Подробно методика наблюдений и обработки описана в монографии А. С. Харина, Е. М. Ненаховой, П. Ф. Лазоренко «Модернизация вертикального круга Ваншаффа и результаты наблюдений Солнца и больших планет в 1970—1977 гг.» (Киев: Наукова думка, 1980).