

прошедшее между наблюдениями каждого из краев. Кроме того, имеются указания ([5], [6]) на то, что систематическая ошибка наведения зависит от величины фазы.

Проведенные исследования позволяют сделать следующие рекомендации:

1. Наблюдения больших планет, не имеющих заметной фазы, следует организовать так, чтобы выполнялось равенство (2). Тогда систематические ошибки наведения не будут влиять на измеренные зенитные расстояния планет.

2. Если наводить только на верхний (нижний) край при одном положении круга и только на нижний (верхний) край при другом положении, то можно все наблюдения (звезд, планет, Солнца) производить на одном и том же участке микрометрического винта. В таком случае не будет надобности вводить поправки за погрешности винта и, таким образом, отпадает требование п. 10 «Инструкции» [4].

3. Наведения делать двойной, а не одиночной нитью, тогда толщина нитей не будет иметь значения и отпадет требование п. 11 «Инструкции» [4]. Естественно, что каждый наблюдатель должен предварительно убедиться, что у него точность наведения двойной нитью не хуже, чем одиночной.

Следует отметить, что пункты 1 и 2 имеют существенное значение при наблюдениях на вертикальных кругах.

ЛИТЕРАТУРА

1. Hartwig E. Publ. der Astr. Gesellsch., XV. Leipzig, 1879.
2. Чеботарев А. С. Способ наименьших квадратов с основами теории вероятностей. ОНТИ, М.—Л., 1936.
3. Кравков С. В. Глаз и его работа. М.—Л., 1950.
4. Инструкция по меридианным наблюдениям Солнца и больших планет. — В кн.: Труды 15-й астрометрической конференции СССР. М.—Л., 1963.
5. Rabe W. — Astr. Nachr., 234, 1928.
6. Нефедьев А. А. — Бюлл. АОЭ, 30, Казань, 1953.

ON THE SYSTEMATIC SETTING ERROR IN OBSERVATION OF DISK-SHAPE OBJECTS

E. M. NENAKHOVA

Summary

Special observations of Venus and Jupiter were made with the Wanschaff vertical circle in order to determine differences of systematic errors of setting on the upper and limbs. (The results are given in Tables 1 and 2).

The origin of these errors and their effect on the observed zenith distances are discussed.

The author recommends a procedure which is capable of reducing and, in some cases, even eliminating the effect of setting errors.

О СИСТЕМАТИЧЕСКИХ ОШИБКАХ ВЫСОТ В КАРТАХ КРАЕВОЙ ЗОНЫ ЛУНЫ

Д. П. Дума, Л. Н. Кизюн

В работе [1] приведены пять вариантов поправок к элементам орбиты Луны, найденных из вашингтонских меридианных наблюдений 1956—1967 гг. Первый вариант соответствует обработке наблюдений без учета рельефа по картам краевой зоны, остальные четыре получены из

тех же наблюдений с учетом мелкого рельефа по картам Гайна, Веймера, Нефедьева и Уоттса. Значения поправок элементов из разных вариантов были использованы для сравнения карт краевой зоны между собой. Мы считаем, что по данным работы [1] можно получить еще некоторые интересные выводы о картах и присущих им систематических ошибках.

С этой целью рассмотрим подробнее вопрос о редукации наблюдений края к центру диска и о связи поправок элементов орбиты Луны с систематическими ошибками высот, снятых с карт краевой зоны. Заметим, что под систематическими ошибками будем понимать такие величины, которые необходимо вычесть из высот, чтобы отнести их к барицентрической сфере.

Пусть α и δ — полученные из меридианных наблюдений экваториальные координаты какой либо точки края Луны, а α_0 , δ_0 , R_0 — экваториальные координаты задаваемых эфемеридой центра масс и радиуса соответственно. Переход от наблюденного положения края к центру диска осуществляется по формулам

$$\begin{aligned} \alpha \pm R_0 &= \alpha', \\ \delta \pm R_0 &= \delta', \end{aligned} \quad (1)$$

где через α' и δ' обозначены экваториальные координаты центра диска. В (1) знак минус соответствует редукациям северного и западного, а плюс — южного и восточного краев. Если наблюдения краев обрабатываются с какими-либо картами, то положение центра находится по формулам

$$\begin{aligned} \alpha \pm (R_0 + h_\alpha) &= \alpha'_k, \\ \delta \pm (R_0 + h_\delta) &= \delta'_k, \end{aligned} \quad (2)$$

где h_α и h_δ — снятые с карт высоты наблюдаемых краевых деталей, каждая из которых определяется координатами P и D или углом положения лунной оси относительно круга склонений C и полными либрациями в широте b и долготе l .

Имея координаты центра диска и центра масс Луны, легко найти разности «наблюдение минус эфемерида»:

$$\begin{aligned} \alpha' - \alpha_0 &= \Delta\alpha, \\ \delta' - \delta_0 &= \Delta\delta \end{aligned} \quad (3)$$

или в случае использования карт краевой зоны —

$$\begin{aligned} \alpha'_k - \alpha_0 &= \Delta\alpha_k, \\ \delta'_k - \delta_0 &= \Delta\delta_k. \end{aligned} \quad (4)$$

Полученные таким путем разности экваториальных координат преобразуются по известным формулам в разности эклиптикальных координат $\Delta\lambda$ и $\Delta\beta$, которые легко представить через поправки к элементам орбиты Луны [3, 4]:

$$\Delta\lambda = (1 + F) \Delta l_m + 2 \sin g \left(1 + \frac{5}{2} e \cos g \right) \Delta e'' - F \Delta \Pi + k T, \quad (5)$$

$$\Delta\beta = \Delta\beta_0 - (F\beta) \Delta\Omega + \sin(\lambda - \Omega) \Delta i,$$

$$F = 2e \cos g + \frac{5}{2} e^3 \cos 2g, \quad (6)$$

$$(F\beta) = \sin i \cos(\lambda - \Omega).$$

Здесь Δl_m , $\Delta e''$, $\Delta \Pi$, $\Delta \beta_0$, $\Delta \Omega$, Δi — поправки средней долготы, эксцентриситета, долготы перигея, широты, долготы узла, наклонности орбиты к эклиптике, а g , λ , Ω , i — средняя аномалия, эклиптическая долгота, долгота узла и наклонность лунной орбиты к эклиптике.

Системы условных уравнений типа (5) и (6) можно составить и решить со свободными членами (3) для наблюдений: 1) северного, 2) южного, 3) западного и 4) восточного краев. Из сравнения одинаковых поправок элементов, найденных при наблюдении северного и южного или западного и восточного краев можно сделать некоторые выводы об истинной фигуре краевой зоны Луны. Например, А. А. Яковкин из сравнения поправок наклонностей орбиты к эклиптике Δi , вычисленных отдельно по наблюдениям северного и южного краев, установил зависимость видимого радиуса от оптической либрации по широте [2]:

$$R = R_0 + k_2' b. \quad (7)$$

Теперь рассмотрим случай, когда поправки к элементам орбиты получены с учетом рельефа по каким-либо картам, т. е. в качестве свободных членов использованы разности «наблюдение минус вычисление» из формул (4). Очевидно, что если снятые с карт высоты отнесены к барицентрической сфере нужного радиуса (к этому всегда стремятся составители карт), то в пределах ошибок вычислений значения одинаковых поправок для противоположных краев будут совпадать. Несовпадение этих поправок укажет на отклонение поверхности отсчета высот от сферы. Чтобы устранить это различие поправок, следовало бы редукцию наблюдений края к центру производить не по (2), а по формулам

$$\alpha \pm (R_0 + h_\alpha + \Delta h_\alpha) = \alpha''_k, \quad (8)$$

$$\delta \pm (R_0 + h_\delta + \Delta h_\delta) = \delta''_k,$$

где Δh_α и Δh_δ — неизвестные поправки, которые переводят высоты данных карт от их поверхности относимости к барицентрической сфере. Для разных наблюдений поправки Δh_α и Δh_δ будут неодинаковыми, потому что нити микрометра каждый раз наводятся на другие точки края Луны. В продолжительном ряде наблюдаемые точки поверхности распределены равномерно в четырех зонах, каждая из которых по ширине равна примерно 16° (сумма полных либраций), а по позиционному углу простирается на 50° (удвоенное значение максимального угла между проекцией оси вращения Луны и кругом склонения). Центрами этих зон являются северный и южный полюса, точки запада и востока.

Заменим в формулах (8) Δh_α и Δh_δ их средними значениями $\overline{\Delta h_\alpha}$ и $\overline{\Delta h_\delta}$, каждое из которых получается усреднением соответствующих величин вдоль пятидесятиградусной дуги по позиционному углу при одной либрации. Кроме того, принимаем, что величина $\overline{\Delta h_\alpha}$ линейно зависит от либрации в долготы, а $\overline{\Delta h_\delta}$ — от либрации в широте.

$$\begin{aligned} \overline{\Delta h_{\delta_1}} &= k_1'' b, \\ \overline{\Delta h_{\delta_2}} &= k_2'' b, \\ \overline{\Delta h_{\alpha_3}} &= k_3'' l, \\ \overline{\Delta h_{\alpha_4}} &= k_4'' l, \end{aligned} \quad (9)$$

где через k_1'' , ..., k_4'' обозначены либрационные коэффициенты для северного, южного, западного и восточного краев.

Если теперь в уравнения (5) и (6) наряду с коэффициентами, которые характеризуют зависимость истинного радиуса Луны от либра-

ции, ввести как неизвестные k_1'', \dots, k_4'' , то, согласно работам [3, 5], удастся найти общую сумму либрационных коэффициентов для северного и южного ($k_1 + k_2$) или западного и восточного краев ($k_3 + k_4$), но не каждый в отдельности. Эти суммы определяются из сравнения поправок наклонностей орбит к эклиптике Δi , эксцентриситетов Δe для разных краев, и учитывают как истинную фигуру Луны, так и ошибки высот карт.

Из всего сказанного следует, что величина каждого коэффициента k_i ($i=1, \dots, 4$) обусловлена двумя причинами. Во-первых, изменение радиуса на один градус либрации k_i может объясняться несовпадением поверхности отсчета высот в данном типе карт с барицентрической сферой. Во-вторых, величина k_i также зависит от фигуры Луны и других причин. Таким образом, каждый k_i складывается по меньшей мере из двух частей — «либрационного коэффициента данных карт» краевой зоны k_i'' и либрационного коэффициента k_i' , который обусловлен фигурой и другими факторами,

$$k_i = k_i' + k_i''. \quad (10)$$

Для случая, когда наблюдения обработаны без карт,

$$k_i = k_i'. \quad (11)$$

Очевидно, что разность поправок Δi , найденных по наблюдениям одного края без исправления за мелкий рельеф и с учетом его по каким-либо картам, определяет величину k_i'' .

Действительно, согласно [3] и соотношениям (10)—(11) из настоящей работы, для северного края имеем:

с учетом рельефа по картам

$$\Delta i - 6,7(k_1' + k_1'') = \Delta i_1^k, \quad (12)$$

без исключения мелкого рельефа

$$\Delta i - 6,7k_1' = \Delta i_1^0. \quad (13)$$

Вычитая (12) из (13), находим

$$k_1'' = \frac{\Delta i_1^0 - \Delta i_1^k}{6,7}. \quad (14)$$

Аналогичные рассуждения можно провести для случаев обработки с картами и без карт наблюдений других краев. Формулы для вычисления остальных коэффициентов запишутся так:

$$k_2'' = -\frac{\Delta i_2^0 - \Delta i_2^k}{6,7}, \quad (15)$$

$$k_3'' = -\frac{\Delta e_3^0 - \Delta e_3^k}{3,14}, \quad (16)$$

$$k_4'' = \frac{\Delta e_4^0 - \Delta e_4^k}{3,14}. \quad (17)$$

Для выполнения вычислений по формулам (14)—(17) соответствующего Δi_i и Δe_i заимствованы из [1] и даны в табл. 1. Полученные значения коэффициентов для карт Гайна, Веймера, Нефедьева и Уоттса приведены в табл. 2. Для сравнения в эту таблицу также включены $k_1 + k_2$ и $k_3 + k_4$.

На основании полученных результатов можно отметить следующее.

1. Данные настоящей работы не подтверждают общепринятого мнения о том, что зависимость поправок эфемеридного радиуса Луны от оптической либрации в широте обусловлена только сложной геометрией видимых профилей. Согласно данным табл. 1 и 2, часть либрационного эффекта не зависит от истинной фигуры краевой зоны, а является следствием применения к наблюдениям каких-либо карт.

Таблица 1

Неизвестное	Варианты				
	Без карт	Гайн	Веймер	Нефедьев	Уоттс
Δi_1	$-0,17 \pm 0,04$	$-0,32 \pm 0,04$	$-0,32 \pm 0,04$	$-0,26 \pm 0,04$	$-0,44 \pm 0,04$
Δi_2	-0,23	-0,30	-0,08	-0,55	-0,18
Δi_{1+2}	-0,09	-0,21	-0,13	-0,33	-0,29
Δe_3	-0,21	-0,15	-0,15	-0,14	-0,11
Δe_4	+0,24	+0,14	+0,14	+0,13	+0,23
Δe_{3+4}	0,00	-0,03	-0,01	-0,12	+0,04

2. До настоящего времени принималась зависимость поправки эфемеридного радиуса от оптической либрации в широте только для южного края. Однако распределение k_i'' по отдельным краям в табл. 2 указывает на наличие значительного либрационного эффекта для наблюдений северного края. Более подробное обсуждение этого факта здесь излишне, так как разделение зависящего от карт эффекта хорошо видно из табл. 2. Заметим лишь, что большой по модулю коэффициент в картах Нефедьева k_2'' совпадает с тем значением, которое принял автор при их создании. При их построении в гелиометрических наблюдениях радиус-векторов южного края учтен либрационный коэффициент $k_2 = 0,05$. Без этой редукции высоты на этих картах были бы вычислены с наименьшей систематической ошибкой, что свидетельствует о хорошем качестве использованных наблюдений и совершенной методике их построения.

Таблица 2

Составитель карты	$k_1 + k_2$	k_1''	k_2''	$k_3 + k_4$	k_3''	k_4''
Гайн	+0,003	+0,022	-0,010	-0,093	+0,020	+0,032
Веймер	+0,036	+0,022	+0,022	-0,091	+0,021	+0,033
Нефедьев	-0,043	+0,013	-0,048	-0,085	+0,025	+0,036
Уоттс	+0,039	+0,040	+0,007	-0,109	+0,032	+0,005

3. Данные таблицы указывают на сравнительно большую зависимость высот от оптической либрации в долготе на западном и восточном краях, что не подтверждается теми немногими результатами, которые получены другими исследователями по гелиометрическим наблюдениям. Возможно, это следствие притяжения меридианных наблюдений края для определения коэффициентов k_3'' и k_4'' , что делается впервые.

В заключение заметим, что либрационные коэффициенты, которыми мы пользуемся для характеристики карт и высот лунных деталей, действительно являются показателями правильности представления о рельефе краевой зоны. Как указывалось выше, меридианные наблюдения каждого края охватывают узкие полосы рельефа, которые симметричны направлениям север—юг и запад—восток. Внутри околуполосных полос $D \approx -b$, для околэкваториальных полос $D \approx l$, где D

обозначает краевую координату Гайна. Таким образом, в формулах (7) и (9) вместо либраций по широте и долготе можно вставить краевую координату D . Это обстоятельство и данные табл. 2 дают нам основание утверждать, что высоты карт Гайна, Веймера, Нефедьева и Уоттса ошибочны в систематическом отношении и нуждаются в поправках.

Результаты и выводы настоящей работы нуждаются в подтверждении на другом наблюдательном материале.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кизюн Л. Н. — В кн.: Астрометрия и астрофизика, 13. «Наукова думка», К., 1971.
2. Яковкин А. А. — АЖ, 1962, 39, 4.
3. Дума Д. П., Кизюн Л. Н. — Труды 18-й астрометр. конференции СССР. «Наука», М., 1972.
4. Беррот А., Хофман В. Космическая геодезия. ИЛ, Москва, 1963.
5. Яковкин А. А. — Публ. Киевской астр. обс. Изд-во Киевского ун-та, 4, 1950.

ON THE SYSTEMATIC ERRORS OF THE CORRECTIONS FOR LIMB PROFILE IRREGULARITIES IN THE CHARTS OF THE MARGINAL ZONE OF THE MOON

D. P. DUMA, L. N. KISJUN

Summary

The corrections to the inclination of the Moon's orbit with respect to the ecliptic Δi and to the eccentricity Δe have been analysed for the systematic errors in the charts of the marginal zone. A part of libration effect is found to be due to the charts used in the reduction of observations but not to the figure of the Moon itself.

The corrections to the Moon's semidiameter depending upon the optical libration in longitude and latitude have been revealed for north and south as well as for east and west limbs of the Moon.

The corrections for profile irregularities taken from the charts of Hayn, Weimer, Nefedjew and Watts are not free from some systematic errors.

ДЕФОРМАЦИЯ СЕЛЕНОДЕЗИЧЕСКОЙ ОПОРНОЙ СЕТИ ПОД ВЛИЯНИЕМ ОШИБОК ПОСТОЯННЫХ ВРАЩЕНИЯ ЛУНЫ

В. С. Кислюк

Наиболее целесообразно определять координаты лунных объектов в динамической системе, оси которой совпадают с главными осями инерции Луны. Реализация такой системы осуществляется на основании законов вращения Луны, одними из характеристик которого являются: средняя наклонность лунного экватора к эклиптике I и функция главных моментов инерции Луны

$$f = \frac{B(C-B)}{A(C-A)}.$$

Но параметры I и f до сих пор нуждаются в уточнении. Данные, полученные по различным гелиометрическим, фотографическим, меридианным и другим наблюдениям, указывают на то, что истинные значения этих величин, по-видимому, находятся в интервалах

$$0,50 < f < 0,85, \\ 1^{\circ}31',0 < I < 1^{\circ}33',5. \quad (1)$$