

УДК 523.3—332

Анализ вашингтонских меридианных наблюдений Луны 1925 — 1968 гг.

Л. Н. Кизюн, Р. Н. Коваль

Анализ уклонений по прямому восхождению и склонению для вашингтонских меридианных наблюдений Луны 1925—1968 гг. указал на существование в них значительной систематической составляющей. Ее величина уменьшается, но не устраняется полностью, при редукции наблюдений за рельеф края по картам Уоттса.

Спектральный анализ позволил обнаружить в уклонениях по прямому восхождению колебания с периодами, соответствующими периодам аргументов l и l' , а в уклонениях по склонению — с периодами планетных членов № 1235 и № 1240 из ILE. Сделан вывод, что указанные члены в эфемериде Луны нуждаются в поправках. Это необходимо учитывать при обработке позиционных наблюдений Луны, если используется эфемериды $j=2$.

ANALYSIS OF WASHINGTON MERIDIAN OBSERVATIONS OF THE MOON DURING THE PERIOD 1925-1968, by Kizyun L. N., Koval' R. N.—The analysis of residuals in right ascensions $\delta\alpha$ and declinations $\delta\delta$ for the Washington meridian observations of the Moon in the period 1925-1968 shows clearly the presence of an essential systematic component. Its value reduces strongly (but some periodic fluctuations still remain) when applying the Watts profile corrections. The solutions for $\delta\alpha$ and $\delta\delta$ were studied by spectral analysis. There were detected peaks at l and l' in the right ascension spectrograms and planetary terms N 1235 and N 1240 in the declination spectrograms. It has been concluded that the above planetary terms require some corrections. That must be taken into account in reduction of the lunar positional observations in the case of using the ephemeris $j=2$.

В работе [3] выполнено исследование систематических ошибок высот в картах краевой зоны Луны, для чего использовались поправки к элементам лунной орбиты. Последние находились из обработки вашингтонских меридианных наблюдений 1925 — 1968.5 гг. путем решения уравнений без учета и с учетом поправок за рельеф краевой зоны по картам Уоттса.

$$\Delta\alpha_i = 2f_{e1}(\Delta e \mp 3.14k_i + a_{1z_0}) \sin g \sec \delta + f_{l1}(2e\Delta l) + f_{\bar{p}1}\Delta\bar{P} + f_{\Omega 1}(\Delta\Omega \sin i) + f_{i1}(\Delta i + b_{1z_0}) + f_{01}D_\alpha\Delta T \quad (i = 3, 4), \quad (1)$$

$$\Delta\delta_i = -\Delta\delta_0 \pm \Delta h_{0i} + f_{i2}(\Delta i \mp 6.7k_i + b_{1z_0}) \sin(\lambda - \Omega) + 2f_{e2}(\Delta e + a_{1z_0}) + f_{l2}(2e\Delta l) + f_{\bar{p}2}\Delta\bar{P} + f_{\Omega 2}(\Delta\Omega \sin i) + f_{02}D_\delta\Delta T \quad (i = 1, 2).$$

В (1) знак «+» соответствует северному и восточному, знак «-» южному и западному краям Луны; Δe , Δi , Δl , $\Delta\Omega$, $\Delta\bar{P}$, $\Delta\delta_0$, Δh_0 — определяемые поправки эксцентриситета, наклонности лунной орбиты к эклиптике, долгот перигея и узла лунной орбиты, паралактического неравенства, склонений звезд фундаментального каталога в близэкваториальной зоне, радиуса Луны соответственно; k — либрационный коэффициент; ΔT — разность эфемеридного и всемирного времени; a_{1z_0} , b_{1z_0} — радиальные составляющие смещения центра поверхности относимости высот карт по отношению к эфемеридному центру масс. Коэффициенты при неизвестных f_{e1} , f_{l1} , $f_{\bar{p}1}$, $f_{\Omega 1}$, f_{i1} , f_{e2} , f_{l2} , $f_{\bar{p}2}$, $f_{\Omega 2}$, f_{i2} являются функциями элементов орбиты Луны и ее экваториальных координат. D_α , D_δ — часовые изменения прямого восхождения и склонения Луны, $i=1, 2, 3, 4$ для северного, южного, западного и восточного краев соответственно.

В данной работе выполнен корреляционный и спектральный анализ уклонений, полученных после решения уравнений (1), с целью выяв-

ления систематических частей, не связанных с рельефом краевой зоны. Для этого выбирались интервалы долгот Луны такой длины, чтобы в каждый попадало не менее трех уклонений $\Delta(O-C)$. В итоге для данного ряда получалось 96 интервалов по 3.75° . По уклонениям в полученных интервалах находили нормальные точки, используя многочлен вида

$$\Delta(O-C) = a + b(L - L_0) + c(L - L_0)^2 + \dots \quad (2)$$

Здесь $\Delta(O-C)$ — уклонения по прямому восхождению или склонению; a, b, c — искомые коэффициенты; L и L_0 — орбитальные долготы Луны

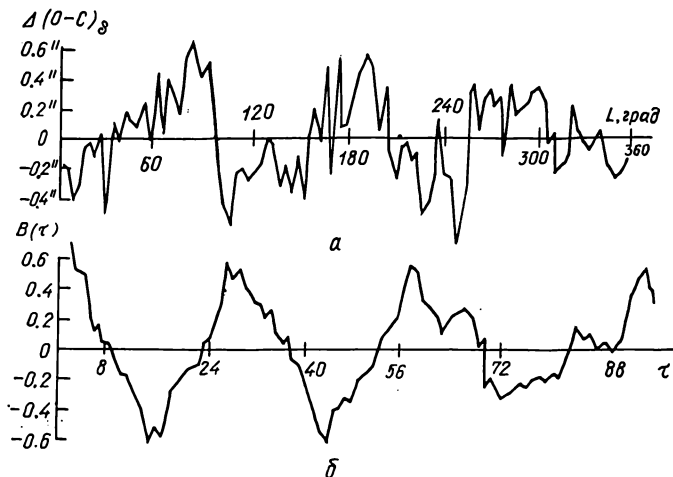


Рис. 1. Распределение нормальных точек (а) и корреляционная функция (б), составленные по остаточным уклонениям в склонениях для наблюдений, не редуцированных за рельеф краевой зоны Луны. $B(\tau)$ дано в квадратных угловых секундах

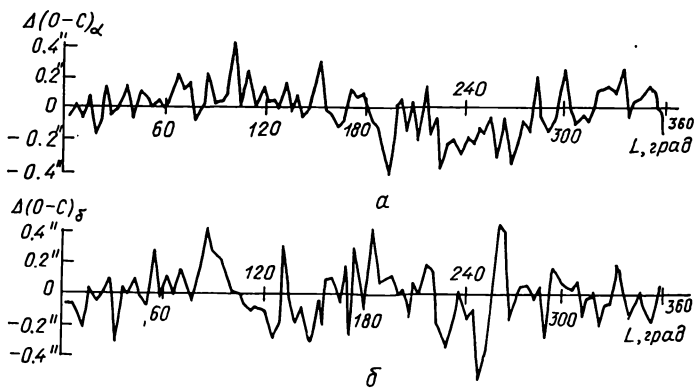


Рис. 2. Распределение нормальных точек, составленных по остаточным уклонениям в прямых восхождениях (а) и склонениях (б) для наблюдений, редуцированных за рельеф края по картам Уоттса

и нормальной точки. Уравнения (2) решались методом наименьших квадратов. Степень многочлена устанавливалась по критерию Фишера путем сравнения дисперсий для многочленов различных степеней с 5%-ным уровнем значимости.

На рис. 1, а, 2 даны распределения нормальных точек, составленных по остаточным уклонениям в склонениях и прямых восхождениях для наблюдений, редуцированных и не редуцированных по картам краевой зоны Уоттса. Корреляционные функции, полученные по значениям нормальных точек, представлены на рис. 1, б, в. В уклонениях по прямому восхождению и склонению имеется существенная систематическая

часть, а учет поправок за рельеф по картам краевой зоны уменьшает систематическую составляющую, но не устраняет ее полностью.

Результаты работы [5] и данного исследования показывают, что распределение наблюдений связано с элонгацией Луны D (рис. 4). Поэтому естественно проанализировать уклонения для выявления в них периодов, близких к периоду D . Для каждой лунации находилось

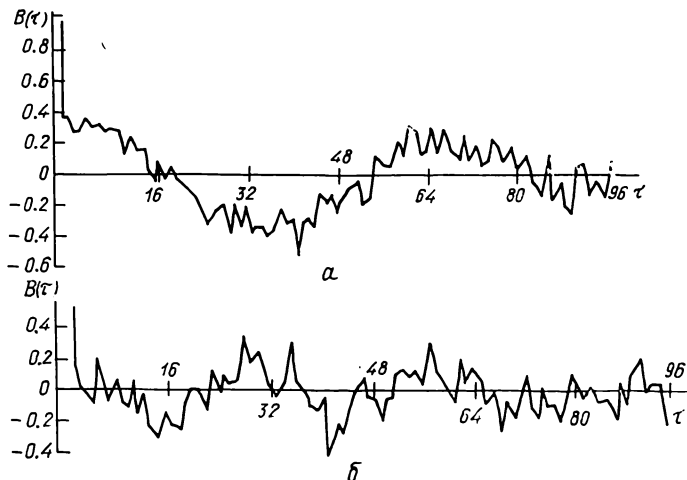


Рис. 3. Корреляционная функция остаточных уклонений в прямых восхождениях (а) и склонениях (б) с учетом рельефа по картам Уоттса

среднее значение уклонений, и в дальнейшем выполнялся анализ этих осредненных оценок. За период 1925—1968.5 гг. можно выбрать лишь два непрерывных интервала: первый — с 1925 по 1933 гг., охватывает 100 лунаций с уклонениями по α и δ , второй — с 1942 по 1953 гг., содержит 127 лунаций с уклонениями по α и 107 лунаций с уклонениями по δ (1942—1951 гг.).

Для анализа использовались уклонения более продолжительного (второго) интервала наблюдений. Так как наряду с лунациями, содержащими восемь—двенадцать наблюдений, имелись

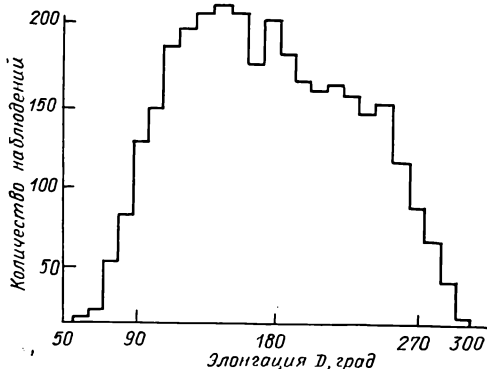


Рис. 4. Гистограмма распределения вашингтонских меридианных наблюдений 1925—1968 гг.

лунации с одним и двумя наблюдениями, каждому среднему значению уклонения назначался вес пропорционально количеству наблюдений в каждую лунацию. После этого наблюдения сглаживались по методу Вондрака с коэффициентом сглаживания $\epsilon = 1 \cdot 10^{-9}$.

Спектры мощности, вычисленные по методу Тьюки [1] со значением $N=127$, $M=127$ для уклонений по α и $N=107$, $M=107$ для уклонений по δ (при максимальной разрешающей способности), представлены на рис. 5. Почти вся энергия в приведенных спектрах приходится на колебания с периодами $T=11.3$ и $T=14.3$ лунаций для уклонений по склонению, $T=12.1$ и $T=14.1$ лунаций для уклонений по прямому восхождению.

Максимальная амплитуда в спектрах составляет $0.16''$. Среди высших пиков в спектрограмме по прямому восхождению следует отметить два, периоды которых $T=14.1$ и $T=12.1$ совпадают с периодами аналогичных пиков в долготной спектрограмме, полученной Моррисоном [5] по наблюдениям покрытий звезд Луной, и отождествленных им с периодами аргументов средней аномалии Луны l и Солнца

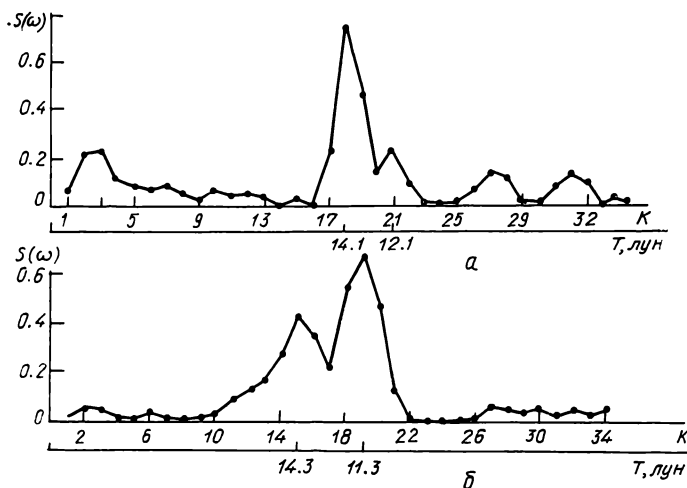


Рис. 5. Спектры мощности уклонений по прямому восхождению (а) и склонению (б)

l' в ILE [4]. Периоды пиков $T=11.3$ и $T=14.3$ в спектрограмме по склонению совпадают с периодами планетных членов в ILE № 1235 и № 1240.

Появление в уклонениях систематических частей такого вида связано с тем, что указанные члены в эфемериде требуют поправок, которые необходимо учитывать при обработке позиционных наблюдений Луны в случае использования эфемериды $j=2$. Колебания с периодами $T=9.4$ и $T=7.9$ лунаций в спектрограмме по прямому восхождению отождествить с ILE не удалось.

Параллельно с методом Тьюки для оценки полученных результатов использовался метод спектрального анализа с максимальной энтропией (метод Барга) [2]. Анализ указал на отсутствие принципиальных различий в результатах, получаемых обоими методами.

Авторы благодарят А. И. Емец и К. Х. Нурутдинова за предоставленные программы, реализующие методы Барга и Вондрака.

1. Дженкинс Г., Ваттс Д. Спектральный анализ и его приложения.— М.: Мир, 1972.— Вып. 2.—284 с.
2. Емец А. И., Яцкив Я. С. О применении метода оценивания спектра с максимальной энтропией для изучения свободной близзучной нутации // Астрометрия и астрофизика.— 1976.— Вып. 29.— С. 3—8.
3. Кизюн Л. Н. Влияние систематических поправок к высотам в картах краевой зоны на определение нуль-пунктов звездных каталогов, параметров движения и вращения Луны // Кинематика и физика небес. тел.— 1985.—1, № 3.— С. 33—41.
4. Eckert W. J., Jones R., Clark H. K. Improved Lunar Ephemeris 1952—1959.— Washington: US Government Print. Off., 1954.— P. 283—363.
5. Morrison L. V. An analysis of lunar occultations in the years 1943—1974 for corrections to the constants in Brown's theory, the right ascension system of the FK4 and Watt's lunar-profile datum // Mon. Notic. Roy. Astron. Soc.— 1979.— 187, N 1.— P. 41—82.