

малии Гленни получаютя как попутный результат при вычислении изостатических аномалий.

Принимая во внимание результаты исследований, приведенных в работе [6], вычисление аномалий Гленни на территории Карпатского региона позволит существенно уточнить существующие карты поверхности Мохоровичича.

Список литературы: 1. *Артемов М. Е.* Изостазия территории СССР. М., «Наука», 1975. 2. *Вуллард Дж. П.* Стандартизация измерений силы тяжести. — В кн.: Земная кора и верхняя мантия. М., «Мир», 1972. 3. *Евсеев С. В.* Сравнительная характеристика различных аномалий силы тяжести Предкарпатья. — «Геофизич. сборник АН УССР», 1952, № 1. 4. *Евсеев С. В., Сигалова Р. М.* О связи между локальными аномалиями силы тяжести и элементами сейсмичности в Закарпатье. — «Геофизич. сборник АН УССР», 1970, № 35. 5. *Евсеев С. В.* Про визначення параметрів ізостатичної редукції. — «Доп. АН УРСР, серія «Б»», 1974, № 11. 6. *Евсеев С. В.* О способах определения рельефа поверхности Мохоровичича. — «Геофизич. сборник АН УССР», 1977, № 78. 7. *Люстих Е. Н.* Геологический смысл различных методов вычисления аномалий силы тяжести. — «Тр. ин-та теоретич. геофизики АН СССР», 1947, вып. 3. 8. *Рингвуд А. Е.* Состав и эволюция верхней мантии. — В кн.: Земная кора и верхняя мантия. М., «Мир», 1972. 9. *Шаталова Э. М.* О смещении уровенной поверхности (геоида) под влиянием топографической редукции. — «Геодезия, картография и аэрофотосъемка», 1971, вып. 14. 10. *Шаталова Э. М.* К вопросу о деформации геоида. — «Геодезия, картография и аэрофотосъемка», 1972, вып. 15. 11. *Шаталова Э. М.* Карта «изостатического геоида» в районе Карпат. — «Геодезия, картография и аэрофотосъемка», 1973, вып. 17. 12. *Cassinis G., Dore P., Ballarin S.* Tavole fondamentali per la riduzione dei valori osservati della gravita. — «Publ. dell'istituto di Topogr. e Geod.», 1937, № 22.

Работа поступила 6 мая 1977 года. Рекомендована кафедрой теории математической обработки геодезических измерений Львовского политехнического института.

УДК 523.36

П. М. ЗАЗУЛЯК

Львовский политехнический институт

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ГРАВИТАЦИОННОГО ПОЛЯ ЛУНЫ ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПЛОТНОСТИ ЕЕ НЕДР

Как известно, мерой отклонения от однородности планеты служит значение среднего момента инерции I/MR^2 , для определения которого используются стоксовы постоянные второго порядка (для однородного шара значение $I/MR^2=0,4$; если $I/MR^2 < 0,4$, то плотность с глубиной возрастает, а если $I/MR^2 > 0,4$, — плотность уменьшается).

В настоящее время в результате ряда исследований [3—6] появилась возможность использовать данные о гравитацион-

ном поле планеты не только для оценки характера распределения плотности в ее недрах, но и для построения плотностных моделей (совместно с результатами сейсмических исследований и данными анализа поверхностных пород). Согласно предложенной в работах [3—6] методике, распределение плотности между поверхностями разрыва представляется в виде полинома n -й степени относительно расстояния $\rho \left(\rho = \frac{r}{R}, 0 \leq \rho \leq 1 \right)$

с коэффициентами, являющимися функциями угловых координат ϑ и λ и безразмерных степенных моментов плотности $I_{pqr} = \frac{1}{MR^n} \int \delta x^p y^q z^r d\tau$, которые в свою очередь выражаются через известные стоксовы постоянные планеты.

Применяя этот метод для отыскания глобального распределения плотности недр Луны, ограничимся полиномом второй степени, поскольку, во-первых, стоксовы постоянные Луны высших порядков, необходимые для нахождения степенных моментов плотности тех же порядков, определены пока недостаточно точно, а, во-вторых, для полинома $\delta_2(\rho, \vartheta, \lambda)$ все коэффициенты могут быть найдены на основании значений, полученных из наблюдений.

При $n=2$ формула для трехмерного распределения плотности имеет вид* [6]

$$\delta_2(\rho, \vartheta, \lambda) = K + \Phi - \sum_{i=1}^k h_i \theta_i + \rho^2 (A \sin^2 \vartheta \cos^2 \lambda + B \sin^2 \vartheta \sin^2 \lambda + C \cos^2 \vartheta + E), \quad (1)$$

где $K = \frac{5}{4} \delta_{cp} [5I_{000} - 7(I_{200} + I_{020} + I_{002})];$

$$\Phi = \frac{5}{4} \sum_{i=1}^k h_i \left[5(1 - \rho_i^3) - \frac{21}{5}(1 - \rho_i^5) \right]; \quad E = \frac{35}{4} \sum_{i=1}^k h_i (\rho_i^3 - \rho_i^5);$$

$$A = \frac{35}{4} \delta_{cp} (3I_{200} + I_{020} + I_{002} - I_{000}); \quad B = \frac{35}{4} \delta_{cp} (I_{200} + 3I_{020} + I_{002} - I_{000}); \quad C = \frac{35}{4} \delta_{cp} (I_{200} + I_{020} + 3I_{002} - I_{000}).$$

Здесь h_i — значение скачка плотности на границе разрыва ρ_i ; θ_i — стандартная разрывная функция, равная 0, если $\rho < \rho_i$ и равная 1, если $\rho > \rho_i$.

* Формула (1) записана с учетом того, что при отыскании распределения плотности лунных недр будут использованы стоксовы постоянные второго порядка, приведенные к главным осям инерции; в этом случае $I_{110} = I_{101} = I_{011} = 0$.

Безразмерный момент нулевого порядка $I_{000}=1$. Степенные моменты плотности второго порядка I_{200} , I_{020} , I_{002} выражаются через стоксовы постоянные Луны c_{20} , c_{22} и ее динамическое сжатие β так:

$$I_{200} = \frac{2c_{22} - c_{20}}{2\beta}; \quad I_{020} = \frac{(1 - 3\beta)c_{22}}{\beta} - \frac{(1 + \beta)c_{20}}{\beta};$$

$$I_{002} = \frac{2c_{22} - c_{20}}{2\beta}(1 - \beta).$$

Переход от трехмерного распределения (1) к одномерному (сферически симметричному) выполняется усреднением по сфере правой части выражения (1)

$$\delta_2(\rho) = K + \Phi - \sum_{i=1}^k h_i \theta_i + (D + E)\rho^2, \quad (2)$$

где

$$D = \frac{35}{12} \delta_{cp} [5(I_{200} + I_{020} + I_{002}) - 3I_{000}].$$

Если значения скачков плотности неизвестны, то их можно определить, используя формулу (2). Для этого необходимо знать радиусы ρ_i поверхностей разрывов плотности и ее значения δ_k в k точках, каждая из которых лежит между такими смежными поверхностями. Тогда, подставляя в выражение (2) значения указанных величин, получаем систему линейных уравнений, из решения которой найдем значения скачков плотности h_i [6].

При построении модельных распределений плотности в недрах Луны воспользуемся значениями $c_{20} = -2,047 \times 10^{-4}$, $c_{22} = -0,225 \times 10^{-4}$, $\beta = 6,306 \times 10^{-4}$, полученными в работе [7] в результате совместного уравнивания стоксовых постоянных второго порядка, динамических сжатий β и γ , а также неравенств в движении перигея и узла лунной орбиты и $\delta_{cp} = 3,344$ г/см³ [12]. Относительно других величин, принимаемых в качестве исходных, необходимо сказать следующее. По современным данным мощность лунной коры на видимой стороне в среднем оценивают примерно в 60 км [11—14]. Кроме того, в морских районах имеется скачок в скоростях сейсмических волн на глубинах 20—25 км. Однако отсутствие сейсмических данных в других регионах пока не позволяет однозначно определить, является ли двухслойное строение коры характерным для всей Луны или оно свойственно только морским районам. С одной стороны, различия в составе лунных морей и материков позволяют полагать, что в неморских районах кора однослойная. С другой стороны, если принять, согласно работе [9], что скачок в скоростях сейсмических волн на глубине 20—25 км обусловлен не изменениями в составе пород, а переходом от пород, характеризующихся наличием трещин и пустот, к более

монолитному материалу, то двухслойная кора возможна и в глобальном масштабе.

На основании приведенных выше рассуждений будем исходить из двух возможных вариантов строения лунной коры с глубиной. В первом случае примем кору однослойной мощностью 60 км, а во втором — двухслойной с толщиной верхней коры 20 км и нижней 40 км. Причем для верхней коры положим $\delta = 2,85 \text{ г/см}^3$ [9], а для нижней — $\delta = 3,0 \text{ г/см}^3$ [12]. В случае однослойной коры назначим ее плотность равной $2,95 \text{ г/см}^3$, что является средневесовым значением плотности верхней и нижней коры. Заметим, что, согласно данным работы [15], средняя плотность коренных пород лунных морей составляет $3,19 \text{ г/см}^3$, а материков — $2,97 \text{ г/см}^3$. Если учесть, что около 84% поверхности Луны приходится на материки, и допустить существование трещин и пустот [2], то принимаемое значение средней плотности коры $2,95 \text{ г/см}^3$ окажется согласованным с результатами работы [15].

Рассмотрим сначала несколько упрощенные модели, имеющие только кору и мантию, причем плотность ниже коры будем полагать непрерывной на всю глубину, и на примере таких моделей исследуем распределение плотности в зависимости от принимаемой структуры лунной коры.

На основании принятой методики модель с однослойной корой (мощностью 60 км и средней плотностью $2,95 \text{ г/см}^3$) описывается следующими выражениями:

а) при трехмерном распределении плотности

$$\delta(\rho, \vartheta, \lambda) = 3,439 - 0,401 \theta - \rho^2 (0,299 \sin^2 \vartheta \cos^2 \lambda + 0,304 \sin^2 \vartheta \sin^2 \lambda + 0,314 \cos^2 \vartheta - 0,214); \quad (3)$$

б) при осредненном одномерном распределении

$$\delta(\rho) = 3,439 - 0,401 \theta - 0,092 \rho^2. \quad (4)$$

Здесь значение θ равно 1 в коре и 0 в мантии.

Для вычисления скачка плотности на границе кора—мантия средняя плотность коры $\delta = 2,95 \text{ г/см}^3$ была задана на глубине 30 км. При этом значение скачка плотности оказалось $0,401 \text{ г/см}^3$. Малое значение коэффициента при ρ^2 указывает на то, что плотность возрастает с глубиной незначительно: для верха мантии она составляет $3,354 \text{ г/см}^3$, в центре Луны — $3,439 \text{ г/см}^3$.

В случае двухслойного строения коры для распределения плотности имеем

$$\delta(\rho, \vartheta, \lambda) = 3,438 - 0,148 \theta_1 - 0,352 \theta_2 - \rho^2 (0,299 \sin^2 \vartheta \cos^2 \lambda + 0,304 \sin^2 \vartheta \sin^2 \lambda + 0,314 \cos^2 \vartheta - 0,217) \quad (5)$$

и
$$\delta(\rho) = 3,438 - 0,148 \theta_1 - 0,352 \theta_2 - 0,089 \rho^2, \quad (6)$$

где

$$\theta_i = \begin{cases} 1, & \text{если } \rho > \rho_i; \\ 0, & \text{если } \rho < \rho_i, \end{cases} \quad (i = 1, 2).$$

Скачок плотности на границе верхняя—нижняя кора составляет $0,148 \text{ г/см}^3$, а на границе нижняя кора—мантия — $0,352 \text{ г/см}^3$. Для этой модели плотность кровли мантии Луны $3,355 \text{ г/см}^3$, а в ее центре — $3,438 \text{ г/см}^3$.

Таким образом, обе модели независимо от строения коры приводят практически к одинаковому распределению плотности в мантии.

Как известно, неприменные условия, которым должны отвечать все модели внутреннего строения Луны, — их согласованность с ее общей массой и моментом инерции. Вычисления, выполненные с этой целью, дали для обсуждаемых моделей $M=7,350 \times 10^{25} \text{ г}$ и $I/MR^2=0,3958$. Таким образом, полученные модели распределения плотности удовлетворяют условиям сохранения общей массы Луны и ее момента инерции [7], причем модели трехмерного распределения плотности развивают во внешнем пространстве гравитационное поле, совпадающее (с учетом стоксовых постоянных до второго порядка) с реальным полем Луны.

Поэтому такие модели объясняют установленные по данным наблюдений различия в моментах инерции Луны. Установить же другие особенности (например, концентрации масс в круговых морях) на основании этих моделей, естественно, невозможно, так как при их построении использованы гармонические коэффициенты c_{nm} и s_{nm} только второго порядка. Вследствие этого обсуждаемые модели описывают распределение плотности Луны лишь в глобальном масштабе. Для выявления же региональных скоплений масс необходимо учитывать гармонические коэффициенты высших порядков. Однако решить с нужной точностью этот вопрос на основании имеющихся моделей гравитационного поля пока еще не представляется возможным. Аналогичный вывод сделан и в работе [8].

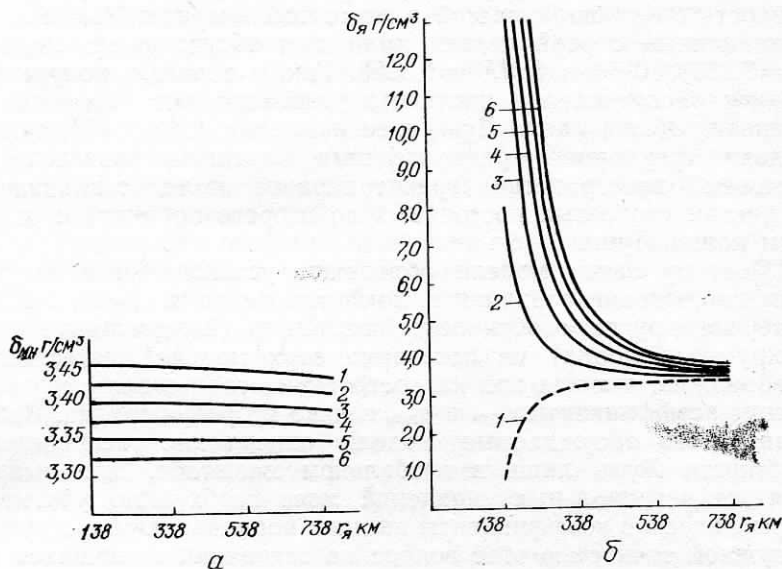
Значение плотности $3,35\text{—}3,36 \text{ г/см}^3$, полученное для кровли мантии, хотя и является несколько меньшим по сравнению с оценками других авторов [10—12], но вполне допустимо с точки зрения согласованности его с данными о прохождении упругих волн в верхнем слое мантии. С глубиной скорости сейсмических волн для плотностных моделей (4) и (6) должны несколько увеличиваться. И, действительно, используя соотношения

$$V_s = -0,60 + 1,52 \delta; \quad 2,5 \leq \delta \leq 4,5 \quad \text{и} \quad V_p = -2,40 + 3,12 \delta,$$

предложенные Болтом [1], для скоростей продольных и поперечных волн в верхнем слое мантии получаем $V_s \approx 4,5 \text{ км/с}$ и $V_p \approx 8,1 \text{ км/с}$, а на глубине 1000 км — $V_p \approx 8,3 \text{ км/с}$.

Эти значения скоростей находятся в пределах, допускаемых интерпретацией результатов сейсмических экспериментов [13]. Однако характер их изменения не согласуется с данными наблюдений, согласно которым скорости распространения упругих волн в мантии считаются почти постоянными с возможным

уменьшением в верхних слоях. Это различие, по-видимому, обусловлено, с одной стороны, тем, что при вычислении скоростей не учитывалась их зависимость от температуры и давления, и, с другой стороны, предположением о непрерывном изменении плотности в мантии с глубиной, принятым при построении плотностных моделей (4) и (6). Очевидно, введение и учет возможных скачков плотности в более глубоких недрах Луны может привести не только к изменению распределения плотности на



Зависимость плотности подошвы мантии $\delta_{мн}$ (а) и плотности ядра $\delta_{я}$ (б) от радиуса ядра $r_{я}$ и плотности кровли мантии $\delta_{мв}$.

данных глубинах, но и в верхних слоях мантии, за счет чего может быть достигнуто лучшее согласование скоростей («наблюденных» и вычисленных по модели).

Рассмотрим в связи с этим характер распределения плотности в моделях, в которых кроме скачка плотности на границе кора—мантия будем допускать существование еще одного скачка плотности. Для этого обсудим ряд построенных нами плотностных моделей, в которых поверхности разрывов плотности задавались на глубинах либо 1000 км (нижний предел зоны, где по оценкам разных авторов возможно частичное плавление вещества лунных недр [11, 13, 14]), либо ниже этой границы с выделением последними ядра небольших размеров [11]. Причем вследствие того, что плотность кровли мантии оценена еще не достаточно надежно, ее значение при вычислениях варьировалось в пределах 3,34—3,42 г/см³ с шагом 0,01 г/см³ для каждой заданной глубины разрыва. Во всех вариантах кору при-

нимали однослойной (мощностью 60 км и средней плотностью 2,95 г/см³).

Результаты вычисления плотности $\delta_{\text{мн}}$ в мантии у ее подошвы и $\delta_{\text{я}}$ в предполагаемом ядре (практически равной плотности в центре Луны) в зависимости от плотности $\delta_{\text{мв}}$ кровли мантии и радиуса ядра $r_{\text{я}}$ показаны на рисунке. Пользуясь данными, приведенными на рисунке, и значениями коэффициента L (таблица), характеризующего изменение плотности с глубиной,

Значения коэффициента $L=L(\delta_{\text{мв}}, r_{\text{я}})$

$\delta_{\text{мв}}, \text{ г/см}^3$	$r_{\text{я}}, \text{ км}$			
	738	538	338	138
3,35	-0,107	-0,106	-0,106	-0,105
3,36	-0,065	-0,067	-0,067	-0,068
3,37	-0,024	-0,027	-0,029	-0,030
3,38	0,018	0,012	0,009	0,008
3,39	0,059	0,052	0,047	0,045
3,40	0,101	0,091	0,086	0,083

распределение плотности для каждой модели можно представить в виде

$$\delta(\rho) = \delta_{\text{я}} - \sum_{i=1}^2 h_i \theta_i + L\rho^2, \quad (7)$$

а затем легко найти значение плотности на любой глубине. Скачок плотности на границе кора—мантия находим как разность плотности кровли мантии $\delta_{\text{мв}}$ и плотности коры (2,95 г/см³), а на границе второго разрыва — как разность $\delta_{\text{я}}$ и $\delta_{\text{мн}}$.

Заметим, что для всех построенных моделей выполняются условия сохранения общей массы Луны и значения ее среднего момента инерции.

В зависимости от принимаемого значения плотности кровли мантии $\delta_{\text{мв}}$ можно привести следующие характеристики распределения плотности лунных недр:

- 1) при плотности верха мантии $\delta_{\text{мв}} \leq 3,35$ г/см³ плотность на границе второго разрыва уменьшается скачкообразно, но при этом монотонно возрастает на участках между разрывами;
- 2) если $3,36 < \delta_{\text{мв}} < 3,38$ г/см³, то плотность с глубиной почти постоянна, а на границах разрывов возрастает скачкообразно;
- 3) в предположении, что $\delta_{\text{мв}} \geq 3,38$ г/см³, плотность лунных недр уменьшается с глубиной на участках, где она представлена непрерывной функцией, а на границах разрывов увеличивается скачком.

Интересно, что отмеченные качественные особенности распределения плотности практически не связаны с конкретизацией глубины второго скачка плотности.

По ряду причин представляется сомнительной возможность существования распределения плотности в недрах Луны, полученного при условии плотности кровли мантии, меньшей значения $3,35 \text{ г/см}^3$. Во-первых, такие модели являются гравитационно неустойчивыми [9, 12]. Во-вторых, для объяснения напряжений, возникающих в недрах Луны вследствие меньшей плотности нижележащего слоя, требуется, чтобы недра на этих глубинах были достаточно жесткими, в то время как из результатов сейсмических исследований следует, что вещество Луны на глубинах 800—1000 км может быть в частично расплавленном состоянии [11—13]. И, в-третьих, в таких моделях плотность в мантии возрастает сравнительно быстро*. Это трудно согласовать с тем, что скорости распространения сейсмических волн в этой зоне почти постоянны или даже несколько уменьшаются с глубиной.

Результаты вычислений разных вариантов плотностных моделей показывают, что при наличии разрыва плотности на глубине 1000 км плотность ниже этой границы отличается от плотности мантии незначительно. Так, в модели с плотностью кровли мантии $\delta_{\text{мв}} = 3,36 \text{ г/см}^3$ это различие составляет $0,04 \text{ г/см}^3$, а в случае $\delta_{\text{мв}} = 3,40 - 0,30 \text{ г/см}^3$. Таким образом, результаты наших вычислений моделей распределения плотности согласуются с выводами о невозможности существования у Луны богатого железом ядра радиусом $\sim 700 \text{ км}$, сделанными ранее рядом авторов [11, 12, 14] на основании иных данных. Если принять существование лунного ядра с плотностью примерно 8 г/см^3 , то такое ядро возможно только при его небольших размерах: с учетом неопределенности в значении плотности верхней мантии $140 < r_{\text{я}} < 270 \text{ км}$. Для менее плотного ядра границы возможных значений его радиуса увеличиваются (рисунк).

Принимая во внимание имеющиеся в настоящее время данные о распространении упругих волн в лунной мантии [11—14] и выводы ряда авторов [11, 14] о значениях плотности в ее верхнем слое, мы выделяем в качестве более возможных два варианта моделей глобального распределения плотности лунных недр:

1) в случае отсутствия плотного ядра Луны

$$\delta(\rho) = 3,53 - 0,43\theta_1 - 0,17\theta_2 + 0,018\rho^2; \quad (8)$$

2) в предположении наличия ядра плотностью $8,0 \text{ г/см}^3$ радиусом $\sim 220 \text{ км}$

$$\delta(\rho) = 8,00 - 0,43\theta_1 - 4,63\theta_2 + 0,009\rho^2. \quad (9)$$

В обоих случаях $\theta_1 = 1$ в коре и 0 ниже границы кора—мантия. В формуле (8) θ_2 равно 1 до глубины 1000 км, а в формуле (9) до глубины $\sim 1520 \text{ км}$; ниже указанных глубин $\theta_2 = 0$.

* Возрастание плотности с глубиной в модели, построенной при $\delta_{\text{мв}} = 3,34 \text{ г/см}^3$, примерно в 1,5 раза больше по сравнению с моделями (4) и (6).

В модельном распределении плотности (8) плотность коры $2,95 \text{ г/см}^3$; скачок плотности на границе кора—мантия составляет $0,43 \text{ г/см}^3$; плотность кровли мантии $3,38 \text{ г/см}^3$; на глубине 1000 км плотность увеличивается скачком на $0,17 \text{ г/см}^3$ и достигает в центре Луны $3,53 \text{ см}^3$.

Для плотностной модели с ядром небольших размеров (9) распределение плотности до границы мантия—ядро такое же, как и в предыдущем случае, а на указанной границе скачок плотности составляет $4,63 \text{ г/см}^3$.

Естественно, что выделенные здесь варианты распределения плотности Луны можно рассматривать как сугубо предварительные. Получение более достоверных моделей возможно только по мере поступления новой информации о свойствах глубинных недр Луны. В этом случае приведенные на рисунке зависимости дадут возможность сравнительно просто оценить распределение плотности лунных недр без выполнения каких-либо дополнительных вычислений.

Список литературы: 1. Введение в физику Луны. Под ред. В. Н. Жаркова. М., «Наука», 1969. 2. Кляссен И. Дегазация Луны, III. Моря и недра. — «Астрон. вестник», 1974, т. 8, № 2. 3. Мещеряков Г. А. Динамическая фигура Луны и распределение плотности лунных недр. — «Астрон. журнал», 1973, т. 50, № 1. 4. Мещеряков Г. А. Использование стоксовых постоянных Земли для уточнения ее механических моделей. — «Геодезия, картография и аэрофотосъемка», 1975, вып. 21. 5. Мещеряков Г. А., Голикова А. В., Дейнека Ю. П. О некоторых новых моделях Земли. — «Геофизический сборник АН УССР», 1974, вып. 60. 6. Мещеряков Г. А., Дейнека Ю. П. О построении глобальных механических моделей Земли. — «Геодезия, картография и аэрофотосъемка», 1975, вып. 21. 7. Мещеряков Г. А., Зазуляк П. М., Киричук В. В. О вычислении моментов инерции Луны. — «Астрон. журнал», 1976, т. 53, № 3. 8. Burša M. Deflections of the vertical at lunar mascons. — «Bull. Astron. Inst. Czechosl.», 1975, v. 26, № 6. 9. Gast P. W., Giuli R. T. Density of the lunar interior. — «Earth and Planet. Sci. Lett.», 1972, v. 16, № 2. 10. Kaula W. M., Lingenfelter R. E., Schubert G., Sjogren W. L., Wollenhaupt W. R. Apollo laser altimetry and inferences as to lunar structure. — «Moon», 1974, v. 11, № 1/2. 11. Nakamura V., Latham G., Lammlein D., Ewing M., Duennel F., Dorman I. Deep lunar interior inferred from recent seismic data. — «Geophys. Res. Lett.», 1974, v. 1, № 3. 12. Solomon S. C., Toksöz M. N. Internal constitution and evolution of the Moon. — «Phys. Earth and Planet. Inter.», 1973, № 7. 13. Toksöz M. N. Geophysical data and the interior of the Moon. — «Annu. Rev. Earth and Planet. Sci.», Palo Alto, Calif., 1974, v. 2. 14. Toksöz M. N., Dainty A. M., Solomon S. C., Anderson K. R. Structure of the Moon. — «Rev. Geophys. and Space Phys.», 1974, v. 12, № 4. 15. Turkevich A. L. Average chemical composition of the lunar surface. — «Moon», 1973, v. 8, № 3.

Работа поступила 6 мая 1977 года. Рекомендована кафедрой теории математической обработки геодезических измерений Львовского политехнического института.