

ИССЛЕДОВАНИЕ МАКРОФИГУРЫ ЛУНЫ

© Н.Ю.Вараксина, М.В.Кутленков, Ю.А.Нефедьев

В настоящей работе на основе космических и наземных наблюдений построено и проанализировано пять моделей видимой стороны Луны. Получена хорошая сходимость между сечениями моделей, построенных на основе данных миссии "Clementine" и каталога Казань-1162.

Ключевые слова: модель макрофигуры Луны, гипсометрический анализ, миссия "Clementine", каталог Казань-1162

1. Введение

Задача построения модели макрофигуры Луны, отнесенной к ее центру масс и осям инерции, до сих пор не получила своего окончательного решения. В настоящем исследовании делается попытка создания модели видимой стороны Луны на основе космических и наземных наблюдений. В качестве наблюдений были использованы крупномасштабные снимки Луны со звездами и данные миссии "Clementine".

2. Гипсометрический анализ с привлечением данных миссии Clementine и наземных наблюдений

Представляло интерес сравнить гипсометрический уровень, задаваемый независимыми селеноцентрическими системами координат каталога "Казань" (далее по тексту KZ-1) [1] и Казань-1162 (далее по тексту KZ-2), полученными по фотографиям Луны со звездами, с рельефом, формируемым совокупностью высот, полученным в рамках миссии "Clementine" (далее по тексту CL) [2]. Учитывая, что геометрические сечения видимой полусферы Луны можно построить, используя разложения функции высоты h в ряд по сферическим функциям в виде:

$$h(\varphi, \lambda) = \sum_{n=0}^N \sum_{m=0}^n \bar{C}_{nm} \cos m\lambda + \bar{S}_{nm} \sin m\lambda \bar{P}_{nm} \cos \varphi + \varepsilon \quad (1)$$

(φ, λ – известные координаты лунных объектов; $\bar{C}_{nm}, \bar{S}_{nm}$ – нормированные коэффициенты сферических гармоник; \bar{P}_{nm} – нормированные присоединенные функции Лежандра), получим три варианта набора сечений. Их анализ позволяет сделать определенные выводы о степени близости гипсометрической информации, задаваемой каталогами KZ-1 и KV, KZ-2 к рельефу миссии CL.

2.1. Наблюдательный материал

Исходная информация в JPL была представлена в виде координатной сети 2×2 , охватывающей зону между 75° северной и южной широты и средним радиусом 1738 км. При обработке использовался массив данных, состоящий из 72548 высот.

2.2. Алгоритмы обработки и программное обеспечение

Оценки параметров разложения находились из решения переопределенной системы 72548 линейных уравнений по одной из вычислительных схем МНК – схемы Гаусса-Жордана. На первом этапе рассматривались модели до сорокового порядка разложения из-за ограниченности ресурсов вычислительной техники. Соответствующие внутренние критерии определялись одновременно с гармоническими коэффициентами, характеризующие точность оценивания и статистическую значимость отдельных коэффициентов и всей модели в целом.

2.3. Стандартная модель сорокового порядка

Было установлено [3], что значения коэффициентов разложения по сферическим функциям рельефа видимой стороны Луны сорокового порядка ($N = 40$) практически совпадают для соответствующих гармоник при $N = 70$. Это подтверждает корректность основных расчетов. Проверка соблюдения предположений регрессионного анализа – метода наименьших квадратов (РА-МНК) привела к следующим заключениям: модель содержит около 30% статистически незначимых слагаемых; парные коэффициенты корреляции $r_{ij} < 0,3$; что свидетельствует о практической ортогональности разложения.

2.4. Гипсометрические сечения

На основе математических моделей при пятом порядке разложения и соответствующего графического модуля были получены сечения по пяти меридианам лунной сферы ($\lambda = -40^\circ, -20^\circ, 0^\circ, 20^\circ, 40^\circ$) по обе стороны от экватора с шагом

1° по широте. На каждом графике на оси абсцисс откладывались высоты относительно нулевой отметки (1738 км), по оси ординат – широты.

На рисунках 1 и 2 изображены сечения для селенографической долготы $A = 40^\circ$ по массиву данных миссии CL и каталога KZ-2.

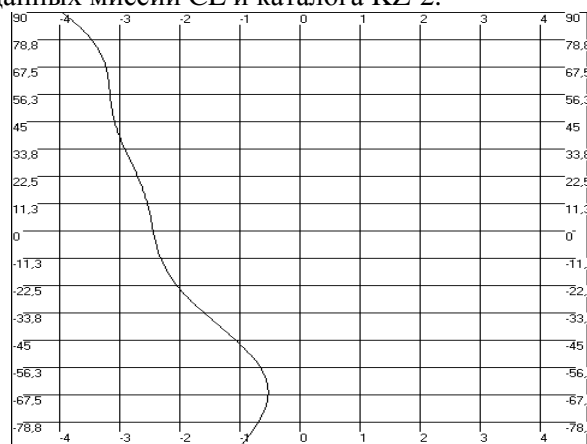


Рис.1. Сечение $\lambda = 40^\circ$ по массиву данных миссии Clementine

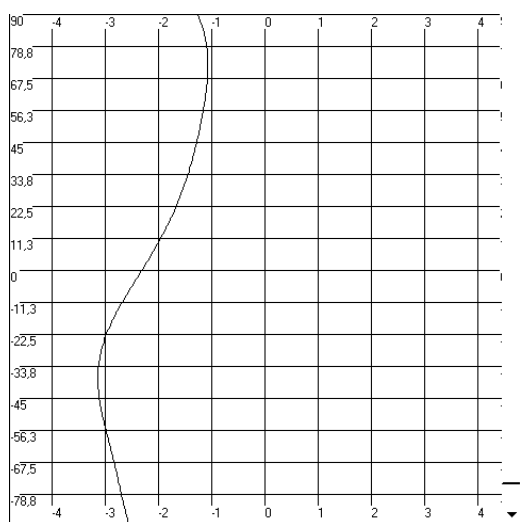


Рис.2. Сечение $\lambda = 40^\circ$ по массиву данных каталога Казань-1162

3. Модель макрофигуры Луны на основе данных каталога Казань-1162

Новые данные о рельефе видимой стороны лунной поверхности были получены при анализе радиусов-векторов (абсолютных высот) 1162 точек каталога KZ-2 [4]. Каталог построен "абсолютным" методом – путем прямой привязки изображений кратеров к фундаментальной системе координат звезд. Положения объектов в каталоге реализуют динамическую систему координат, начало которой совпадает с эфемеридным положением центра масс Луны, а оси направлены вдоль главных осей ее инерции.

На рисунке 3 представлена модель рельефа поверхности видимой полусферы Луны, задаваемая данными каталога KZ-2.

Судя по рисунку, по каталогу KZ-2 фигура Луны – полусфера со средним радиусом 1736,34 км 1,20 км с выступом в центральной части высотой порядка 0,9 км. К северу от параллели 10° рельеф поверхности постепенно понижается, в зоне широт 30° - 70° радиус-векторы в среднем на 0,9 км меньше полученного нами среднего радиуса.

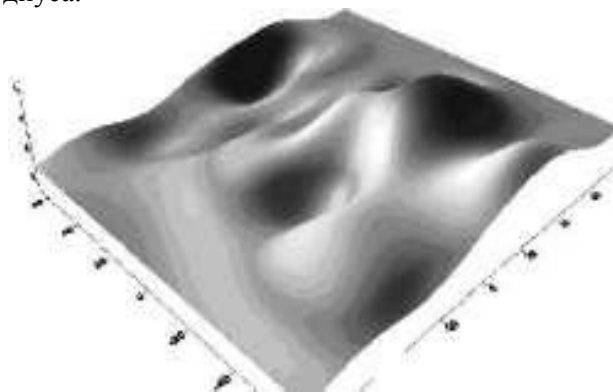


Рис.3. Модель видимой полусферы Луны, построенная на основе данных каталога Казань-1162

Был произведен анализ рельефа поверхности видимой стороны Луны [3]. Основным методом было сравнение гипсометрических данных каталога KZ-1 с данными координатных систем KV, "Apollo" [5]. Также использовались координаты точек посадок КА "Луна-21" и КК "Apollo", где были установлены уголкового отражатели и радиопередатчики, входящие в снаряжение системы ALSEP. Считается, что ошибки радиус-векторов этих точек от центра масс Луны не превышают 30 м [6].

4. Заключение

Из анализа каталогов KV и KZ-1 можно сделать следующие выводы [4] по исследованию сечений для долгот $\lambda = -40^\circ, -20^\circ, 0^\circ, 20^\circ, 40^\circ$:

1. Понижение рельефа в северном полушарии Луны по данным каталога KZ-1 глубже, чем по данным миссии CL, на 2-3 км. Формы гипсометрических кривых в обоих источниках в целом близки. Средний уровень южного полушария выше, чем северного (порядка 0,5-1,0 км).

2. Понижение рельефа для северных широт в диапазоне 30° - 45° по данным каталога KV такого же порядка, как и для данных миссии CL. Однако далее высоты из KV возрастают до широт 70° - 80° . Это приводит к заметному различию форм гипсометрических кривых.

3. Сравнение пяти гипсометрических кривых для каталогов KZ-1, KV подтверждает ранее сделанные выводы о понижении среднего уровня рельефа по данным KZ-1 по сравнению с данными KV в северном полушарии Луны. Общее понижение складывается из понижения в северной

части гипсометрического сечения KZ-1 относительно сечения CL и повышения части сечения KV.

Анализ сечений для долгот $\lambda = -40^\circ, -20^\circ, 0^\circ, 20^\circ, 40^\circ$ CL, KZ-1, KV и каталога KZ-2 дал следующие результаты:

1. Сравнение пяти гипсометрических кривых сечений моделей поверхности, определяемых данными CL и каталога KZ-2, показывает их очень хорошее согласие.

2. Рельеф модели макрофигуры каталога KZ-2 не дает ни заметных понижений, ни заметных повышений относительно данных космического эксперимента CL.

3. Сравнение гипсометрических кривых данных CL и каталогов KZ-1, KV с KZ-2 также подтверждает уже сделанные выводы о понижении среднего уровня рельефа по данным KZ-1 по сравнению с данными KV в северном полушарии Луны, но общее понижение имеет гораздо менее выраженную форму, чем в каталоге KZ-1 и наи-

более близко к величине понижения данных наблюдений космического эксперимента CL.

* * * * *

1. Habibullin Sh.T., Rizvanov N.G. // Earth, Moon and Planets, 1984. – Vol.30. – №1. – P.1-19.
2. Smith D.E. // J. Geophys. Res, 1997. – Vol.102. – P.1591-1611.
3. Валеев С.Г., Ризванов Н.Г., Нефедьев Ю.А. // Известия ВУЗ-ов: Геодезия и Аэрофотосъемка. – 2003. – №4. – С.83-90.
4. Валеев С.Г., Ризванов Н.Г., Нефедьев Ю.А. // Международная конференция "Основные направления развития астрономии в России", 21-25 сентября 2004. – Казань, 2004. – С.255-256.
5. Schirmerman L.A. // Presented at the 16th General Assembly of the IAU. – Defense mapping agency aerospace center. St. Louis, Missouri, 1976. – P.16.
6. Абалакин В.К. // Труды ИТА АН СССР. – 1978. – Вып.17. – С.82-133; Валеев С.Г., Дьяков В.И. // Вестник УлГТУ. – 1999. – С.90-92; Валеев С.Г. // Астрономический вестник. – 1984. – Т.18. – №3. – С.208-214.

THE MODEL OF LUNAR SURFACE

N.Yu.Varaksina, M.V.Kutlenkov, Yu.A.Nefedjev

On the basis of cosmic and overland observations five models of the visible sides of the Moon are built and analyzed. Good convergence between sections of the models was build according to the data of the "Clementine" mission and catalogue Kazan-1162.

Key words: The Model of Lunar Surface, hypsometric analysis, "Clementine" mission, catalogue Kazan-1162

* * * * *

Вараксина Наталья Юрьевна – аспирант кафедры теоретической физики Татарского государственного гуманитарно-педагогического университета

Кутленков Михаил Вячеславович – аспирант кафедры теоретической физики Татарского государственного гуманитарно-педагогического университета

Нефедьев Юрий Анатольевич – доктор физико-математических наук, профессор кафедры теоретической физики Татарского государственного гуманитарно-педагогического университета

E-mail: ff@tggpu.ru