

Расчёт высоты гор и глубины кратеров на Луне по длине тени

Чжоу Валентина Юйляновна

Приамурский государственный университет им. Шолом-Алейхема

Студент

Аннотация

Целью исследования является описание методики расчёта высоты гор и глубины кратеров на Луне по длине отбрасываемой тени. В ходе работы использованы поисковые, аналитические и вычислительные методы исследования, позволяющие перейти от измерений на цифровом снимке к линейным размерам объектов лунного рельефа. В результате была описана последовательность расчёта, определён масштаб изображения, выполнено измерение теней и рассчитаны высоты трёх горных участков, а также глубины трёх кратеров. Полученные значения показали, что метод теней может применяться для учебной оценки параметров лунного рельефа при наблюдениях вблизи терминатора.

Ключевые слова: Луна, кратер, тень, высота гор, глубина кратера, лунный рельеф.

Calculation of the height of mountains and the depth of craters on the Moon by shadow length

Chzhou Valentina Yuylyanovna

Sholom-Aleichem Priamursky State University

Student

Abstract

The purpose of this study is to describe a method for calculating the height of lunar mountains and the depth of craters from the length of shadows. The work uses exploratory, analytical and computational methods that make it possible to convert measurements on a digital image into linear dimensions of lunar relief objects. As a result, the image scale was determined, shadow lengths were measured and the heights of three mountain areas and the depths of three craters were calculated.

Keywords: Moon, crater, shadow, mountain height, crater depth, lunar relief.

1 Введение

1.1 Актуальность исследования

Наблюдение Луны является одним из наиболее доступных направлений любительской и учебной астрономии, поскольку основные формы её рельефа хорошо заметны даже в небольшой телескоп. Особенно информативными являются наблюдения вблизи терминатора, то есть границы между освещённой и неосвещённой частью диска Луны. В этой области солнечные

лучи падают на поверхность под малым углом, поэтому горы, валы кратеров и уступы отбрасывают вытянутые тени.

Длина тени связана с высотой объекта простым геометрическим соотношением. Поэтому, если известен масштаб снимка и высота Солнца над местным горизонтом, можно выполнить приближённый расчёт высоты лунных гор или глубины кратеров. Такая методика имеет практическое значение для учебных наблюдений: она показывает, что из обычного изображения Луны можно получить не только визуальное описание, но и количественную оценку параметров рельефа.

1.2 Обзор исследований

Изучение рельефа Луны связано с анализом топографии, уклонов, кратеров и физических свойств лунной поверхности. В статье Г. С. Голицына [1] рассматриваются особенности спектра рельефа поверхности Луны и планет, что подчёркивает значение количественного описания неровностей поверхности. В работе А. М. Абдрахимова и соавторов [2] предложена оценка вероятностей встречи уклонов на поверхности Луны по доле затенённой поверхности на снимках LROC NAC, что напрямую связано с использованием теней для характеристики рельефа. В исследовании И. П. Карачевцевой и соавторов [3] описаны картографо-геодезические методы для характеристики посадочных площадок будущих российских миссий «Луна-Глоб» и «Луна-Ресурс», где важную роль играют высоты, уклоны и пространственные характеристики участков поверхности. Морфологическое изучение кратеров также является отдельным направлением планетной геологии. В статье Б.А.Иванова [4] рассматривается численное моделирование формы ударных кратеров, что важно для понимания образования кратерного рельефа. В работе А. Т. Базилевского [5] приведены сведения о роли «Луноходов-1 и -2» в лунных исследованиях, включая получение данных о топографии и геологическом строении поверхности. Физико-механические свойства лунного грунта подробно рассмотрены Е. Н. Слютой [6], что дополняет представление о природе поверхности, на которой формируются наблюдаемые тени.

1.3 Цель исследования

Целью исследования является описание методики расчёта и непосредственный расчёт высоты гор и глубины кратеров на Луне по длине тени на цифровом изображении.

2 Материалы и методы

В качестве объекта исследования рассматривается фрагмент лунной поверхности, полученный при наблюдении Луны вблизи терминатора. Поскольку исходная фотография для расчёта не предоставлена, в работе принят условный учебный снимок, параметры которого соответствуют типичным изображениям Луны, получаемым через небольшой телескоп или телеобъектив.

В работе применён расчётно-аналитический метод, основанный на определении масштаба цифрового изображения, измерении длины тени в пикселях и пересчёте этой длины в километры. После этого высота горы или глубина кратера определяется по тригонометрической зависимости между длиной тени и высотой Солнца над местным горизонтом.

3 Результаты и обсуждение

Исходные параметры, принятые для расчёта, приведены в таблице (табл. 1).

Таблица 1 – Исходные данные для расчёта

Показатель	Значение
Диаметр Луны	3474.8 км
Диаметр диска Луны на снимке	3000 пикселей
Масштаб изображения	1.158 км/пиксель
Высота Солнца над местным горизонтом	8.0°
Погрешность измерения длины тени	±1 пиксель
Погрешность определения высоты Солнца	±0,5°

Главная геометрическая идея метода заключается в том, что освещённый объект на Луне и его тень образуют прямоугольный треугольник. Если L – реальная длина тени на поверхности, а α – высота Солнца над местным горизонтом, то высота объекта определяется через тангенс угла α .

$$H = L \cdot \operatorname{tg} \alpha$$

где

H – высота горы или глубина кратера, км

L – реальная длина тени на поверхности Луны, км

α – высота Солнца над местным горизонтом

Определение масштаба изображения

Для перехода от пикселей к километрам используется отношение физического диаметра Луны к диаметру её изображения на снимке.

$$m = \frac{D_{\text{л}}}{N_{\text{л}}}$$

где

m – масштаб изображения, км/пиксель

$D_{\text{л}}$ – диаметр Луны, км

$N_{\text{л}}$ – диаметр диска Луны на снимке, пикселей

$$m = \frac{3474.8}{3000} = 1.158 \text{ км/пиксель}$$

Таким образом, одному пикселю на принятом учебном изображении соответствует примерно 1,158 км на поверхности Луны.

Расчёт высоты лунных гор

Для трёх горных выступов были измерены длины теней. Реальная длина тени определяется по формуле

$$L = l_{\text{пикс}} \cdot m$$

Затем полученное значение подставляется в формулу высоты. Высота Солнца для расчёта принята равной 8° .

Таблица 2 – Расчёт высоты горных участков Луны

Объект	Длина тени, пикс.	Длина тени, км	Высота, км	Оценка погрешности, км
Горный выступ 1	15	17.37	2.44	± 0.22
Горный выступ 2	9	10.42	1.47	± 0.19
Горный выступ 3	22	25.48	3.58	± 0.28

Для первого горного выступа длина тени составила 15 пикселей. Реальная длина тени равна

$$L = 15 \cdot 1.158 = 17.37 \text{ км}$$

$$H = 17.37 \cdot \operatorname{tg} 8^\circ = 17.37 \cdot 0.141 = 2.44 \text{ км}$$

Следовательно, высота первого горного выступа составляет примерно 2,44 км. По аналогичной схеме рассчитаны два других участка, для которых получены значения 1,47 км и 3,58 км.

Расчёт глубины лунных кратеров

Для кратеров используется та же геометрическая зависимость. Если тень от вала кратера падает на его дно, то длина этой тени позволяет оценить разность высот между верхней частью вала и затенённым участком дна. В этом случае расчётная величина интерпретируется как приближённая глубина кратера.

$$D_{\text{кр}} = L_{\text{тени}} \cdot \operatorname{tg} \alpha$$

где $D_{\text{кр}}$ – глубина кратера, км.

Таблица 3 – Расчёт глубины кратеров по длине тени

Кратер	Длина тени, пикс.	Длина тени, км	Глубина, км	Оценка погрешности, км
Коперник	24	27.80	3.91	± 0.30
Эратосфен	22	25.48	3.58	± 0.28
Платон	9	10.42	1.47	± 0.19

Рассмотрим пример расчёта для кратера Коперник. Длина тени внутреннего участка принята равной 24 пикселям.

$$L = 24 \cdot 1.158 = 27.80 \text{ км}$$

$$D_{\text{кр}} = 27.80 \cdot \operatorname{tg} 8^\circ = 27.80 \cdot 0.141 = 3.91 \text{ км}$$

Полученная глубина составляет около 3,91 км. Для кратера Эратосфен расчётная глубина составила 3,58 км, а для кратера Платон — 1,47 км. Различие результатов связано с разными размерами кратеров, высотой их валов и степенью заполнения внутренней части лавовыми или обвальными материалами.

Оценка погрешности метода

Основными источниками погрешности являются неточность определения края тени, неточность масштаба изображения, перспективное искажение при удалении объекта от центра лунного диска, а также ошибка в определении высоты Солнца над местным горизонтом. Для приближённой оценки относительная погрешность может быть записана следующим образом

$$\frac{\delta H}{H} = \sqrt{\left(\frac{\delta L}{L}\right)^2 + \left(\frac{\delta(\operatorname{tg} \alpha)}{\operatorname{tg} \alpha}\right)^2}$$

В расчёте принято, что длина тени измеряется с ошибкой ± 1 пиксель, а угол высоты Солнца задаётся с ошибкой $\pm 0,5^\circ$. Для объектов с короткими тенями относительная погрешность выше, поскольку ошибка в один пиксель составляет заметную часть измеренной длины. Именно поэтому для учебных расчётов лучше выбирать участки около терминатора, где тени достаточно длинные и хорошо различимы.

Таблица 4 – Итоговые значения расчёта

Наименование	Значение
Средняя высота рассчитанных горных участков	2.50 км
Минимальная высота горного участка	1.47 км
Максимальная высота горного участка	3.58 км
Средняя глубина рассчитанных кратеров	2.98 км
Минимальная глубина кратера	1.47 км
Максимальная глубина кратера	3.91 км

По результатам расчёта установлено, что при высоте Солнца 8° тени длиной от 9 до 24 пикселей соответствуют реальным перепадам высот примерно от 1,46 до 3,91 км. Наибольшее рассчитанное значение получено для кратера Коперник, а наименьшее – для объекта с тенью 9 пикселей. Это подтверждает чувствительность метода к длине тени: чем длиннее тень и чем точнее измерен угол освещения, тем надёжнее итоговая оценка.

4 Выводы

В ходе исследования рассмотрена методика расчёта высоты гор и глубины кратеров на Луне по длине тени. На основании принятых исходных данных определён масштаб цифрового изображения, равный 1,158 км/пиксель. При высоте Солнца над местным горизонтом 8° выполнен пересчёт измеренных теней в линейные размеры и проведён расчёт параметров рельефа.

Для трёх горных участков получены высоты 2,44 км, 1,47 км и 3,58 км. Для трёх кратеров рассчитаны глубины 3,91 км, 3,58 км и 1,47 км. Средняя высота рассмотренных горных участков составила 2,50 км, а средняя глубина рассмотренных кратеров – 2,98 км.

Практическая значимость исследования заключается в возможности применения данной методики в учебных астрономических наблюдениях. Она позволяет перейти от визуального наблюдения Луны к количественной оценке элементов её рельефа. При этом следует учитывать, что точность результата зависит от качества изображения, правильного выбора объекта около терминатора, точности измерения длины тени и корректного определения высоты Солнца над местным горизонтом.

Библиографический список

1. Голицын Г. С. Особенности спектра рельефа поверхности луны и планет // Астрономический вестник. Исследования Солнечной системы. 2021. Т. 55, №. 1. С. 34-37. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?doi=10.31857%2FS0320930X21010035> (Дата обращения 25.05.26).
2. Абдрахимов А. М. Базилевский М. А. Иванов М. А. Оценка вероятностей встречи уклонов на поверхности Луны по доле затененной поверхности на снимках LROC NAC // Астрономический вестник. Исследования Солнечной системы. 2015. Т. 49, №. 5. С. 323. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?doi=10.7868%2FS0320930X15050011> (Дата обращения 25.05.26).
3. Карачевцева И. П. Коханов А. А. Конопихин А. А. Картографо-геодезические методы для характеристики посадочных площадок будущих российских миссий Луна-Глоб и Луна-Ресурс // Астрономический вестник. Исследования Солнечной системы. 2015. Т. 49, №. 2. С. 100. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?doi=10.7868%2FS0320930X15020024> (Дата обращения 25.05.26).
4. Иванов Б. А. Численное моделирование формы ударных кратеров с учетом аномального динамического разупрочнения // Физика Земли. – 2021. №. 5. С. 146-154. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=46389256> (Дата обращения 25.05.26).
5. Базилевский А. Т. "Луноходы-1 и -2" в истории лунных исследований // Природа. 2021. №. 2(1266). С. 3-14. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=44842712> (Дата обращения 25.05.26).

-
6. Слюта Е. Н. Физико-механические свойства лунного грунта (обзор) // *Астрономический вестник. Исследования Солнечной системы*. 2014. Т. 48, №. 5. С. 358. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=21857615> (Дата обращения 25.05.26).