

## Стратиграфия южной полярной области Луны

*Красильников А.С.*

*Лаборатория Сравнительной планетологии ГЕОХИ РАН*

### **Введение:**

Область Южного полюса Луны рассматривается ведущими космическими агентствами, как одна из главных целей программы изучения и освоения Луны. Большой интерес к данному региону связан с повышенной концентрацией водорода в реголите. Также большой интерес вызывает возможное нахождение древнейшего лунного вещества в выбросах крупных бассейнов, таких как Южный полюс - Эйткен (South Pole - Aitken, SPA).

Поскольку главными перераспределителем материала на Луне являются ударные кратеры, то целью работы было выбрано построение карт мощности выбросов кратеров нектарианского – коперниковского возраста в районе южного полюса Луны. В задачи входило определение наиболее подходящих формул для расчёта мощности выбросов ударных кратеров в Южной полярной области, произведение вычислений толщины покровов выбросов, построение карт мощностей выбросов в районе южного полюса Луны, в том числе района посадки аппарата Луна-25, и описание построенных моделей.

### **Определение мощности выбросов кратеров:**

Одной из важнейших задач фотогеологического анализа территорий, выбранных для посадки спускаемых аппаратов, является определение источников вещества, накопившегося в месте посадки. Для Луны основным агентом перемещения материала является перераспределение вещества при ударном кратерообразовании. Вокруг кратеров образуются зоны непрерывных выбросов, поля вторичных кратеров и отдельные лучевые выбросы. В работе Красильников А.С. и др. [1] представлены результаты модельных оценок мощности выбросов для кратеров Нектарианского, Имбрийского, Эратосфеновского и Коперниковского возрастов, которые расположены в области от 90° до 70° ю.ш. Полученные оценки основаны на новой геологической карте южной полярной области Луны, составленной в масштабе 1: 300 000 [2].

Для определения мощности выбросов были использованы формулы Хаусена [3], Шарптона [4] и Фассетта [5]. Данные модели были выбраны, как наиболее подходящие для исследуемых кратеров, и, вероятно, наиболее точно описывающие изменение мощности кратеров разного размера. Формула Хаусена применялась к кратерам размером более 45 км. Для расчёта мощности выбросов кратеров меньшего размера была использована формула Шарптона. Формула Фассетта использовалась для бассейнов (>300 км в диаметре). С помощью данных формул стало возможным оценить мощность выбросов кратеров, а с использованием новой геологической карты [2] появилась возможность установить очертания кратеров и их выбросов, относящихся к разным эпохам геологической истории Луны. Используя полученные данные, были построены карты выбросов кратеров нектарианского-коперниковского возрастов в районе Южного полюса Луны.

Луна-25 является одним из наиболее приоритетных проектов корпорации Роскосмос на данный момент. При выборе места посадки, важнейшим является представление о геологическом строении региона и источнике материала, слагающего поверхность. В связи с этим в работе [1] также была построена карта выбросов района от 0° до 52° в.д., и от 65° до 75° ю.ш., включающая наиболее перспективные зоны посадки, представленные в виде эллипсов №1,4 и 6. Данная карта выбросов построена с применением идентичных данных и методов, что были использованы при создании аналогичных карт для Южного полюса.

Использованные в построении карт модели [3-5] дают представление о мощности отложений выбросов, однако не учитывают неизбежное смешение материала выбросов с подстилающим реголитом. При образовании покрова выбросов происходит выпадение разноразмерного материала, образующего вторичные ударные кратеры в широком диапазоне диаметров в результате чего реголит приповерхностных слоев перемешивается с материалом выбросов. Подход к решению проблемы смешения был предложен в работе Oberbeck и др. [6], где приводились результаты исследования по количественной оценке

отношения объемов перемещенного местного к объему привнесенного материала выбросов (фактор смешения  $\mu$ ). В результате была выведена формула:  $\mu=0.0183 \cdot R^{0,87}$ , где  $R$  – расстояние от середины радиуса кратера до места расчета его выбросов. В последствии Petro и Pieters [7] установили, что результаты, полученные при использовании модели смешения Oberbeck и др. [6], плохо сопоставимы с геохимическими и петрографическими особенностями грунта Аполлона-16. Такое несоответствие привело Petro и Pieters [7] к заключению, что фактор смешения  $\mu$ , рассчитываемый по формуле Oberbeck и др. [6], надо уменьшить в два раза. В связи с этим в работе [1] также строились карты мощности с учётом обеих моделей.

Используемые в работе [1] методы определения мощности выбросов имеют большой потенциал. Так в работе Krasilnikov S.S. и др. [8], применяя схожие методы стало возможно получить более точное представление о глубинном строении в районах посадки №1, 4, 6. Используя модели определения мощности, а также геолого-морфологическую карту данного района [9], стало возможным построение геологических разрезов. Учитывались данные морфологического строения поверхности и характер распределения выброшенного материала. Мощность выбросов рассчитывалась для всех кратеров и бассейнов, влияющих на геологическое строение эллипсов посадки.

#### **Результаты:**

Задействованные модели и формулы дают представление о мощности выбросов в исследуемом регионе, однако не дают точных данных, что связано с более сложной механикой отложения выбросов и осложнения поверхности мелкомасштабными экзогенными процессами. Также дополнительного изучения требует крайне важный при образовании выбросов фактор смешения материала.

С помощью карты выбросов и представленной в работ [1] методики появляется возможность определить количество материала в любом месте его распространения на поверхности. Использование того же подхода к расчёту мощностей выбросов даёт возможность получить представление о стратиграфии и глубинном геологическом строении в местах посадки, что было представлено в работе [8]. Полученная информация является крайне важной при выборе площадок для посадки аппаратов лунных миссий, поскольку даёт представление о материале, распространённом в данном регионе.

#### **Список литературы:**

- [1] Красильников А.С., Красильников С.С., Иванов М.А., Хэд Дж.У. Оценка мощности выбросов из ударных кратеров в южном полярном регионе Луны // *Астрономический вестник*. 2023. Т. 57. № 2. (в печати)
- [2] Krasilnikov S.S., Ivanov M. A., Head J. W. Geological map of the South pole of Moon // *LPSC 52*. 2021. №1428.
- [3] Housen K.R., Schmidt R.E., Holsapple K.A. Crater ejecta scaling laws: fundamental forms based on dimensional analysis // *J. Geophys. Res.* 1983. V. 88. Iss. B3. P. 2485-2499.
- [4] Sharpton V.L. Outcrops on lunar crater rims: Implications for rim construction mechanisms, ejecta volumes and excavation depths // *J. Geophys. Res.* 2014. V. 119. Iss. 1. P. 154-168.
- [5] Fassett C.I., Head J.W., Smith D.E., Zuber M.T., Neumann G.A. Thickness of proximal ejecta from the Orientale Basin from Lunar Orbiter Laser Altimeter (LOLA) data: Implications for multi-ring basin formation // *Geophys. Res. Lett.* 2011. V. 38. Iss. 17. L17201.
- [6] Oberbeck V.R., Hörz F., Morrison R.H., Quaide W.L., Gault D.E. On the origin of the lunar smooth-plains // *The Moon*. 1975. V. 12. P. 19-54.
- [7] Petro N.E., Pieters C.M. Modeling the provenance of the Apollo 16 regolith // *J. Geophys. Res.* 2006. V. 111. Iss. E9. P. 1-13.
- [8] Krasilnikov S.S., Krasilnikov A.S., Ivanov M.A. Geological Details of the Main Landing Ellipses of Luna-25 // *Sol. Syst. Res.* 2022. vol. 56. no. 3. pp. 135–144.
- [9] Красильников, С.С., Базилевский, А.Т., Иванов, М.А., Красильников, А.С. Геолого-геоморфологическая характеристика приоритетных мест посадки миссии Луна-Глоб // *Астрономический вестник*. 2021. 55. 99–113.