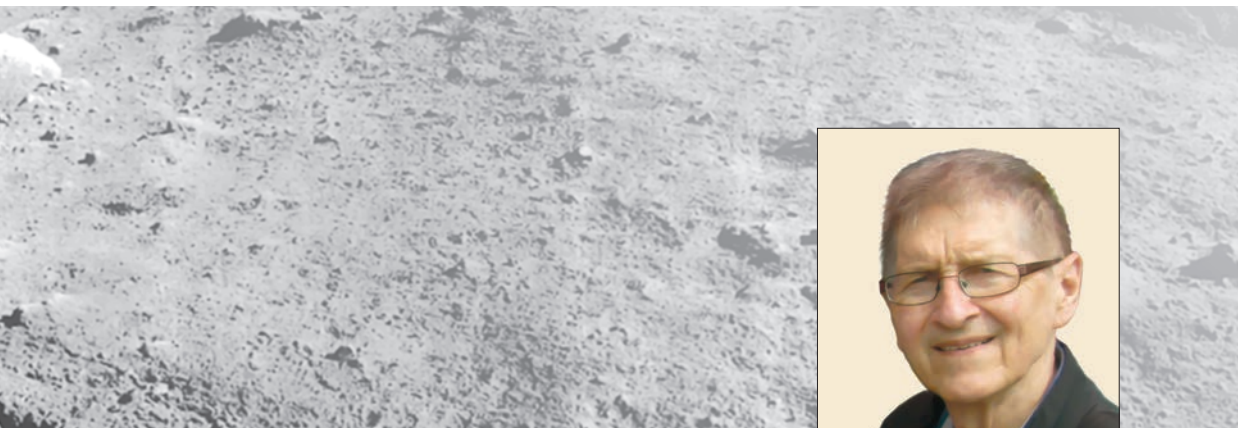


ЧТО МЫ ВИДИМ НА ПОВЕРХНОСТИ ЛУНЫ?



А.Т. БАЗИЛЕВСКИЙ,

доктор геолого-минералогических наук

Институт геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского РАН

DOI: 10.7868/50044394819040054

В статье дан обзор современной информации о находящихся на Луне кратерах менее 1–2 км в диаметре и о камнях. Рассмотрены их морфология, процессы образования и разрушения, а также типичные времена существования на поверхности.

МАЛЫЕ КРАТЕРЫ И КАМНИ НА ПОВЕРХНОСТИ ЛУНЫ

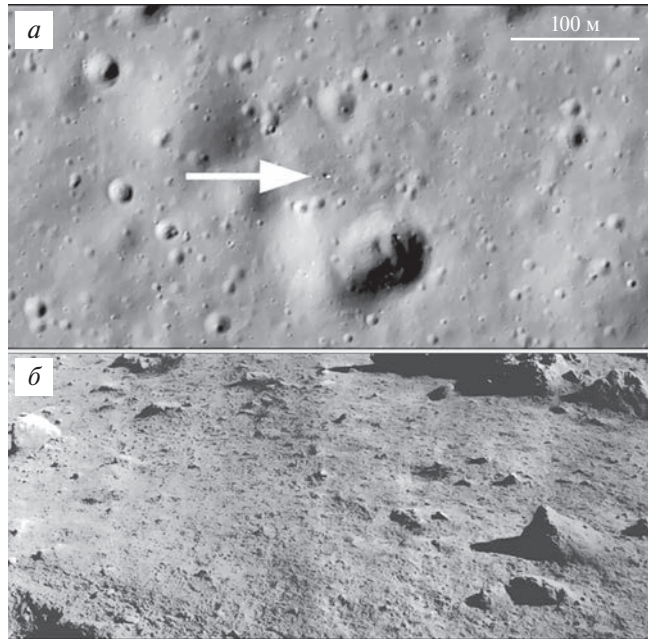
Малые кратеры диаметром менее 1–2 км и камни являются наиболее распространенными формами рельефа (микрорельефа) на поверхности Луны. В отечественной литературе их обзор был выполнен еще в 1971 г. в подборке статей сотрудников ИКИ РАН¹. С тех

пор накопилось много новых данных и особенный прорыв в изучении этих форм лунной поверхности произошел в результате съемки Луны с помощью камеры высокого разрешения американской автоматической межпланетной станцией (АМС) “Лунный орбитальный разведчик” (“Lunar reconnaissance orbiter” (ЗиВ, 2009, № 6, с. 99–102)².

¹Гуриштейн А.А., Шингарева К.Б., Конопихин А.А. и др. Кратеры и камни рассказывают историю Луны // Природа, 1971. № 11. С. 2–15.

²Robinson M.S., Brylow S.M., Tschimmel M. and 20 coauthors. Lunar reconnaissance orbiter camera (LROC) instrument overview // Space Sci. Rev., 2010. V. 150 (1–4). P. 81–124.

Место вечной стоянки самоходного аппарата "Луноход-1" (указан стрелкой) в северо-западной части Моря Дождей: а – видны многочисленные кратеры диаметром в несколько десятков метров; внутри наиболее крупного из них видны камни поперечником в несколько метров. Снимок получен в 2009 г. с помощью АМС "Лунный орбитальный разведчик" (University of Arizona/ NASA); б – россыпь камней дециметрового размера на одном из участков маршрута "Лунохода-1". Фрагмент телевизионной панорамы "Лунохода-1" (L1 D06 S03 P06г). Госкорпорация "Роскосмос" и Российская академия наук



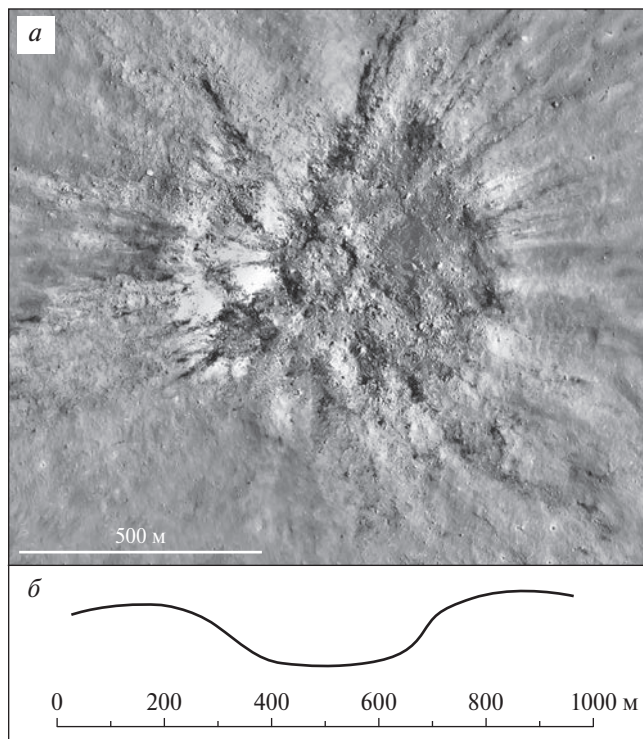
То, что мы видим на Луне – это поверхность слоя в различной степени рыхлого, дробленого ударами метеоритов, перекрывающего породы скального основания. В лунных “морях” скальные породы представлены базальтами, а на материках – ударными брекчиями (горные породы, состоящие из сцементированных обломков) и затвердевшими ударными (возникшими за счет энергии удара) расплавами³. Вещество этого рыхлого слоя называют реголитом. Его толщина, как правило, составляет несколько метров. Он накопился за несколько миллиардов лет в результате метеоритной бомбардировки поверхности спутника⁴.

³Lunar Source Book: A User Guide to the Moon. G.H. Heiken, D.T. Vaniman, B.M. French eds., Cambridge University Press, 1991. 736 p.

⁴Флоренский К.П., Базилевский А.Т., Бурба Г.А. и 9 соавторов / Очерки сравнительной планетологии. М.: Наука, 1981. 326 с.

ПРОИСХОЖДЕНИЕ МАЛЫХ КРАТЕРОВ И КАМНЕЙ НА ЛУНЕ

Малые кратеры на поверхности Луны в подавляющем большинстве образовались в результате ударов метеоритов, и потому их называют ударными. О таком происхождении свидетельствует их случайное пространственное распределение на поверхностях одного возраста. На более древних поверхностях их, как правило, больше – если только на них не действуют какие-то дополнительные факторы разрушения, например, активное перемещение вещества поверхностного слоя под действием силы тяжести – “склоновые процессы”: обвалы, оползни, осыпание и перемещение вещества под действием силы тяжести, инициированные колебаниями температуры. Морфология малых кратеров – это, как правило, чашеобразные понижения. У наиболее “свежих” кратеров наблюдается приподнятый кольцевой вал. На нем и внутри кратера нередко



Кратер Южный Лучевой (South Ray) диаметром 700 м и глубиной 140 м в районе посадки КК "Аполлон-16" на Плато Декарта:
 а – внутри кратера и на его валу видны многочисленные камни. Снимок получен в 2010 г. с помощью АМС "Лунный орбитальный разведчик" (University of Arizona/NASA);
 б – топографический профиль "через" этот кратер. Фрагмент контурной карты "Apollo Over the Moon" (NASA SP-362, 1978)

видны скопления камней – выбросов обломков скального основания из образующейся воронки удара. С точки зрения морфологии свежие малые лунные кратеры очень похожи на кратеры, сформировавшиеся в результате экспериментов (высокоскоростные удары и приповерхностные взрывы)⁵.

Камни на поверхности Луны являются, в основном, выбросами из ударных кратеров, проникающих через реголит в скальное основание. Кроме того, они появляются при обрушениях крутых внутренних склонов крупных свежих кратеров и на бортах тектонических разломов.

Анализ строения малых кратеров на Луне (и на Земле) с учетом результатов

высокоскоростных ударных и взрывных экспериментов, дополненный теоретическими расчетами, позволил составить схему образования малых кратеров. Высокоскоростной удар метеорита по мишени (средняя скорость их столкновения с Луной составляет 17,5 км/с)⁶ приводит к возникновению радиально распространяющейся ударной волны и сжатию на ее "фронте" вещества мишени и "ударника". Распространение ударной волны приводит к вовлечению в радиальное движение (течение) вещества мишени. Радиальное движение вскоре преобразуется в сочетание радиального и направленного под углом кверху; последнее – приводит к образованию выбросов из кратера и подъему (вздергиванию)

⁵ Melosh H.J. Impact Cratering: A Geologic Process, Oxford University Press. New York, 1989. 245 p. Перев. на русск. яз.: МелOSH Г.-Дж. Образование ударных кратеров: геологический процесс. М.: Мир, 1994. 336 с.

⁶ Ivanov B.A. and Hartmann W.K. Exogenic dynamics, cratering and surface ages // Treatise on Geophysics, 2007. V. 10. P. 207–242.

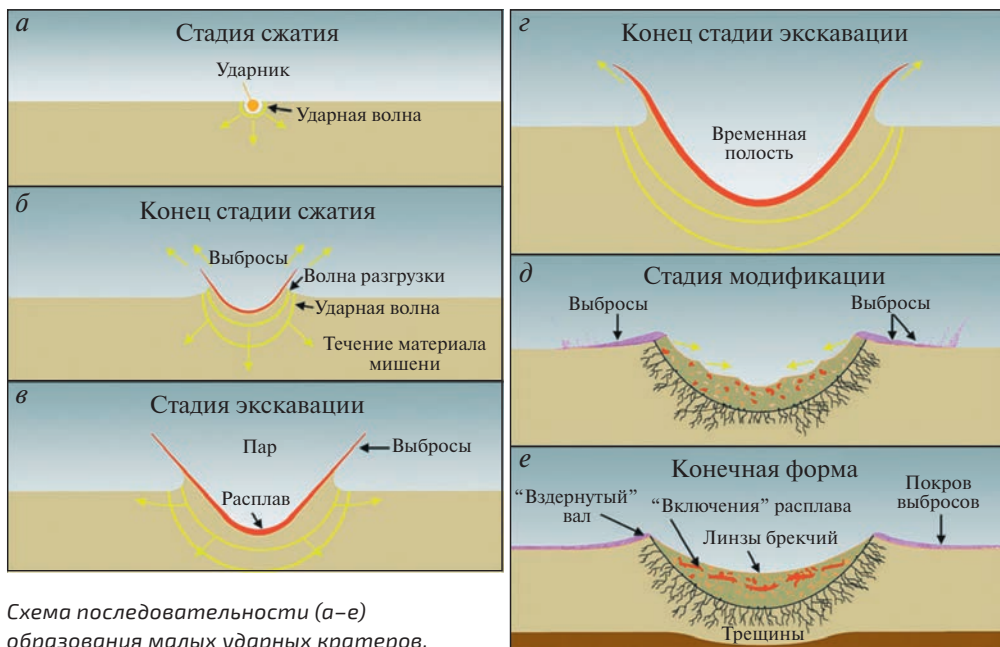


Схема последовательности (а–е) образования малых ударных кратеров. По данным В.М. French and D.A. Kring, с изменениями

материала мишени на будущем валу кратера. В ходе этого процесса образуется крутосклонная временная полость. Обрушение ее склонов приводит к тому, что эта полость частично заполняется обрушившимся материалом с примесью ударного расплава; она становится менее глубокой и более пологосклонной. Эта стадия – начало существования кратера в его конечной (в этом процессе) стадии, затем происходит эволюция кратера: его разрушение в результате воздействия комплекса геологических процессов.

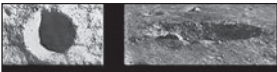
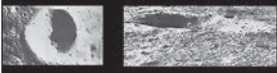
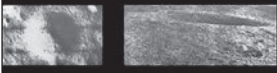
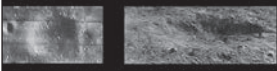

МОРФОЛОГИЯ КРАТЕРОВ

Малые кратеры Луны по степени их морфологической выраженности образуют непрерывный ряд: от относительно глубоких, с приподнятым кольцевым валом, – до неглубоких, без заметного вала. В этой последовательности

выделяются три основных морфологических класса – наиболее четкие (А), средней четкости (В) и наименее четкие (С). И нередко целесообразно выделять еще два промежуточных класса – АВ и ВС.

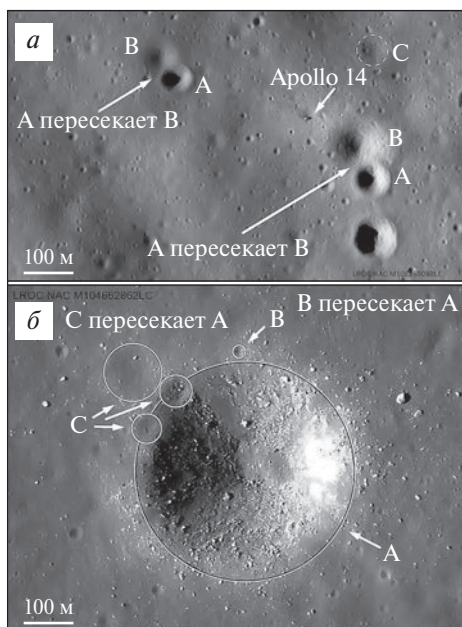
Малые кратеры нередко пересекают друг друга, что позволяет определить: какой из них моложе, а какой – древнее. В ходе анализа изображений поверхности выяснилось, что если пересекаются кратеры одинакового размера, то пересекающий морфологически более выражен. Когда пересекающий кратер по размеру меньше пересекаемого – он может быть морфологически выражен как лучше, чем пересекаемый, так и хуже.

Такие соотношения свидетельствуют о том, что в ходе эволюции малые кратеры под действием ряда процессов изменяются от четко выраженных (относительно молодых) до нечетких, деградированных. При этом темп

		Относительная глубина	Макс. крутизна внутренних склонов	Морфологическая классификация малых кратеров Луны.
A		1/3–1/5	35–45°	Морфологическая классификация малых кратеров Луны. Плановые изображения – фрагменты снимков, выполненных с помощью АМС "Лунар Орбитер" (NASA); перспективные – фрагменты панорам "Лунохода-1" и "Лунохода-2". Относительная глубина кратеров – отношение глубины кратера к величине его диаметра. По данным К.П. Флоренского и др. (1972) и А.Т. Базилевского (1976)
AB		1/5–1/7	25–35°	
B		1/7–1/10	15–25°	
BC		1/10–1/12	10–15°	
C		<1/12	<10°	

Макс. крутизна внутренних склонов

Морфологическая классификация малых кратеров Луны. Плановые изображения – фрагменты снимков, выполненных с помощью АМС "Лунар Орбитер" (NASA); перспективные – фрагменты панорам "Лунохода-1" и "Лунохода-2". Относительная глубина кратеров – отношение глубины кратера к величине его диаметра. По данным К.П. Флоренского и др. (1972) и А.Т. Базилевского (1976)



Примеры пересечения кратеров одинакового и разных размеров. Вверху – морфологически выраженные лучше, чем пересекаемые (а), и хуже (б). На нижнем снимке видно, что три кратера класса С диаметром 60, 65 и 115 м "наложены" на вал кратера класса А диаметром 450 м. Фрагменты снимков, полученных с помощью АМС "Лунный орбитальный разведчик" (University of Arizona/NASA)

деградации зависит от размеров кратера: более крупные кратеры деградируют медленнее, чем маленькие.

ВРЕМЯ "ЖИЗНИ" КРАТЕРОВ НА ПОВЕРХНОСТИ ЛУНЫ

По количеству кратеров того или иного морфологического класса можно оценить относительную продолжительность пребывания каждого кратера в этом классе.

Еще в 1970-е гг., анализируя снимки, полученные АМС "Лунар Орбитер" ("Lunar Orbiter"), были выявлены многочисленные случаи, когда сильно деградированные кратеры меньшего размера явно накладывались на вал слабо деградированных кратеров большего размера⁷. Анализируя такие ситуации, удалось выявить пары примерно одновозрастных кратеров разного размера, относящихся к разным морфологическим классам и построить схему зависимости полного времени существования кра-

⁷ Basilevsky A.T. On the evolution rate of small lunar craters / Proc. Lunar Sci. Conf. 7th / Pergamon Press, 1976. P. 1005–1020.

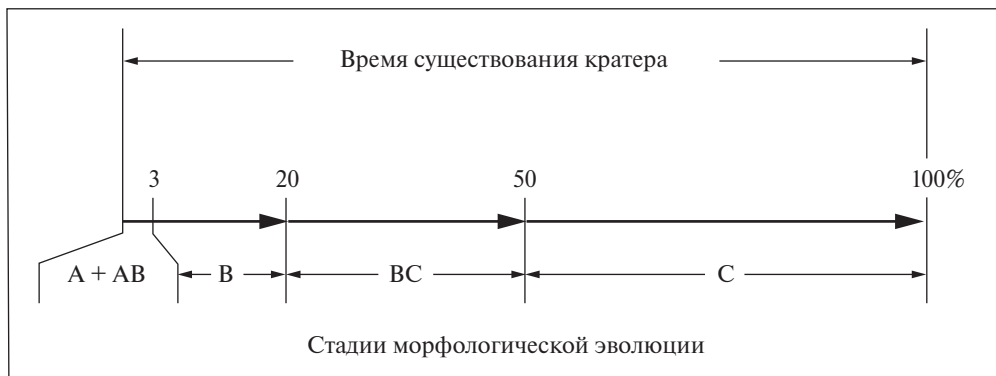


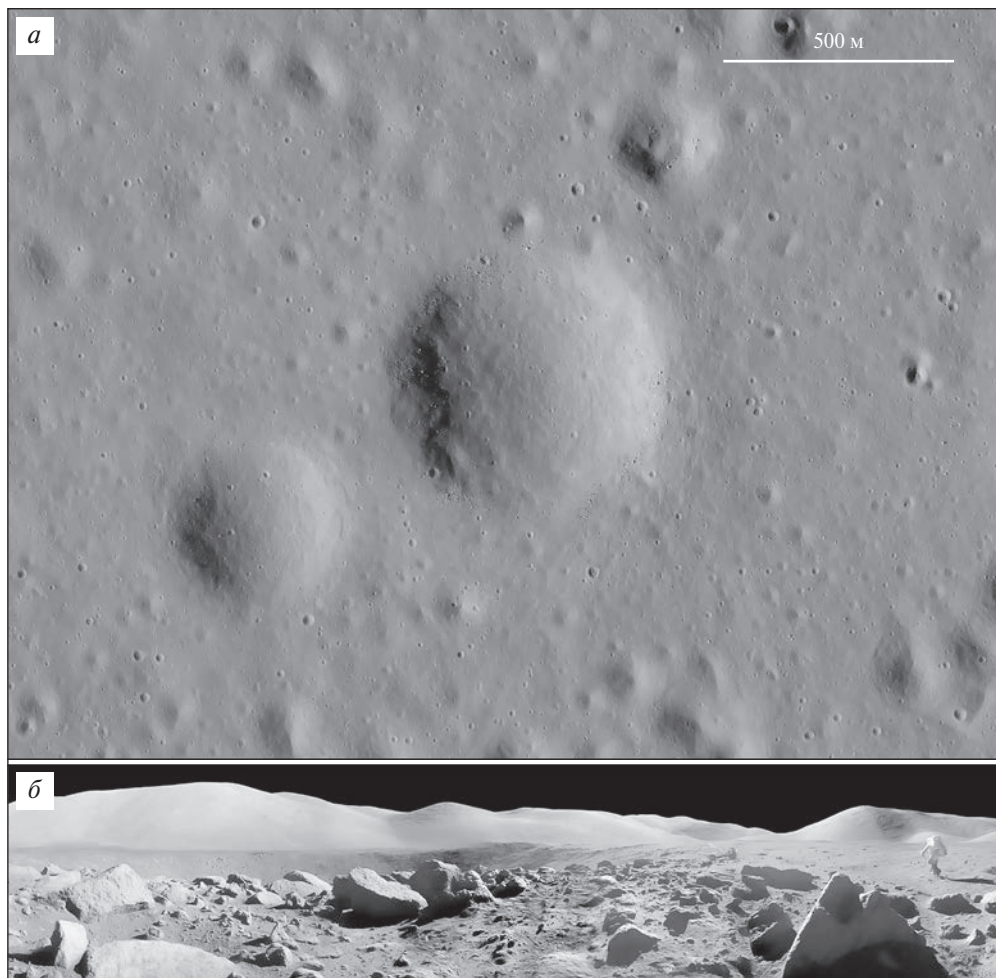
Схема эволюции малых кратеров на поверхности Луны. Видно, что в форме морфологических классов A + AB кратеры проводят около 3% времени существования, в форме класса B – около 15–20%, в форме класса BC – около 30%, в форме класса C – около 50%

теров и их пребывания в том или ином морфологическом классе в зависимости от диаметра кратера. Время в этом исследовании сначала измерялось в условных единицах, и для их перевода в реальное время (миллионы лет) использовались определения абсолютного возраста малых кратеров в местах работы экспедиций по программе “Аполлон” (ЗиВ, 2009, № 5), а они, в свою очередь, определялись по измерениям времени существования камней на валах этих кратеров. Время экспозиции определялось в земных лабораториях по изотопному анализу привезенных астронавтами образцов. Например, в южной части вала кратера Камелот в районе работы экспедиции “Аполлон 17” видны скопления камней, выброшенных на поверхность при его образовании. Анализ образцов, отколотых от этих камней позволил определить возраст кратера равным 109 ± 4 млн лет⁸.

⁸Stöffler D, Ryder G. Stratigraphy and isotope ages of lunar geologic units: Chronological standard for the inner solar system. In: Chronology and Evolution of Mars (2001). Kallenbach R., Geiss J., Hartmann W.K. (eds). Kluwer. P. 9–54.

На диаграмме зависимости абсолютного возраста кратеров диаметром от нескольких десятков метров до 1 километра видно, что время существования кратера диаметром 100 м составляет около 200 млн лет. Время существования 200-м кратера составляет около 500 млн лет, 300-м кратера – около 1,5 млрд лет, а кратеров диаметром 500–600 м – 3–4 млрд лет; а это есть возраст базальтовых равнин лунных морей. Соответственно, в течение первых нескольких процентов полного времени своего существования кратер четко выражен в рельефе – находится в форме морфологических классов A и AB. Затем эта выраженность кратера постепенно ухудшается, и вторую половину отпущенного ему времени существования он находится в форме морфологического класса C.

Здесь следует сделать два замечания: первое – эти оценки приближенные, по-видимому, их точность не превышает 30–50%. Второе замечание – это оценки времени существования кратеров на горизонтальной поверхности. Как показано в работе Basilevsky (1976), на наклонных поверхностях кратеры разрушают-



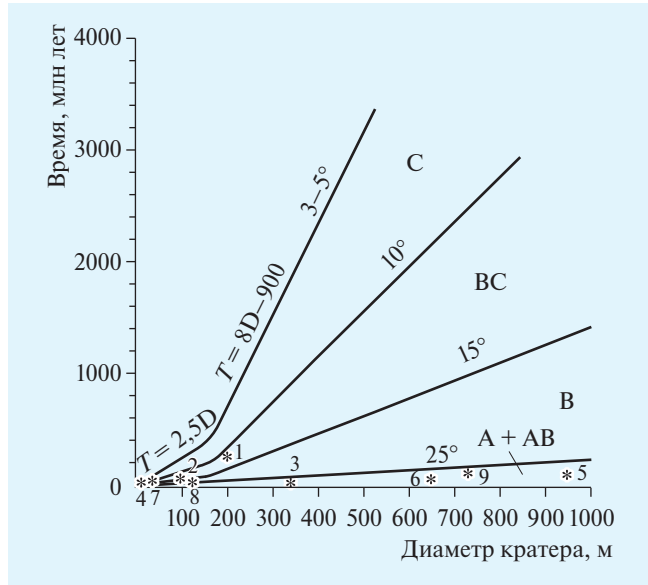
Лунный кратер Камелот (Camelot) диаметром 600 м: а – снимок получен в 2009 г. с помощью АМС “Лунный орбитальный разведчик” (University of Arizona/NASA); б – на переднем плане – южная часть вала кратера с выброшенными при образовании кратера камнями; далее видна относительно темная верхняя часть северного внутреннего склона этого кратера. Светлые горы вдали – Северный массив. Часть панорамы составлена из снимков, сделанных в декабре 1972 г. астронавтами КК “Аполлон-17” Г. Шмиттом и Ю. Сернаном на станции № 6

ся быстрее. На склонах крутизной 10–15° время “жизни” кратера сокращается в 3–5 раз, а на склонах крутизной в 20–25° – примерно в 10 раз. Это происходит потому, что, как упоминалось выше, материал поверхности (а это рыхлый реголит) под действием силы тяжести вовлекается в движение вниз,

по склону, и заполняет находящийся на склоне кратер.

В последнее время количество кратеров с известным абсолютным возрастом заметно возросло за счет рассмотрения малых кратеров, образованных в результате ударов выбросов из кратеров Коперник (диаметр 96 км)

График зависимости времени существования малых кратеров на поверхности Луны от величины их диаметра. Звездочками с номерами показаны определения возраста кратеров из районов работы экспедиций по программе "Аполлон"



и Тихо (диаметр 85 км)⁹. Такие кратеры называют вторичными. Их абсолютный возраст лишь на минуты меньше возраста соответствующих первичных кратеров; в нашем рассмотрении он может считаться таким же, как у первичных. Возраст кратеров Коперник и Тихо был определен по образцам, доставленным на Землю участниками экспедиций по программе "Аполлон"¹⁰, а связь изученных вторичных кратеров с их первичными источниками установлена в процессе прослеживания светлых лучей выбросов из кратеров Коперника и Тихо. Полученные в этом исследовании результаты подтвердили наши ранние (Basilevsky, 1976) оценки абсолютного возраста малых кратеров по их морфологии и диаметру.

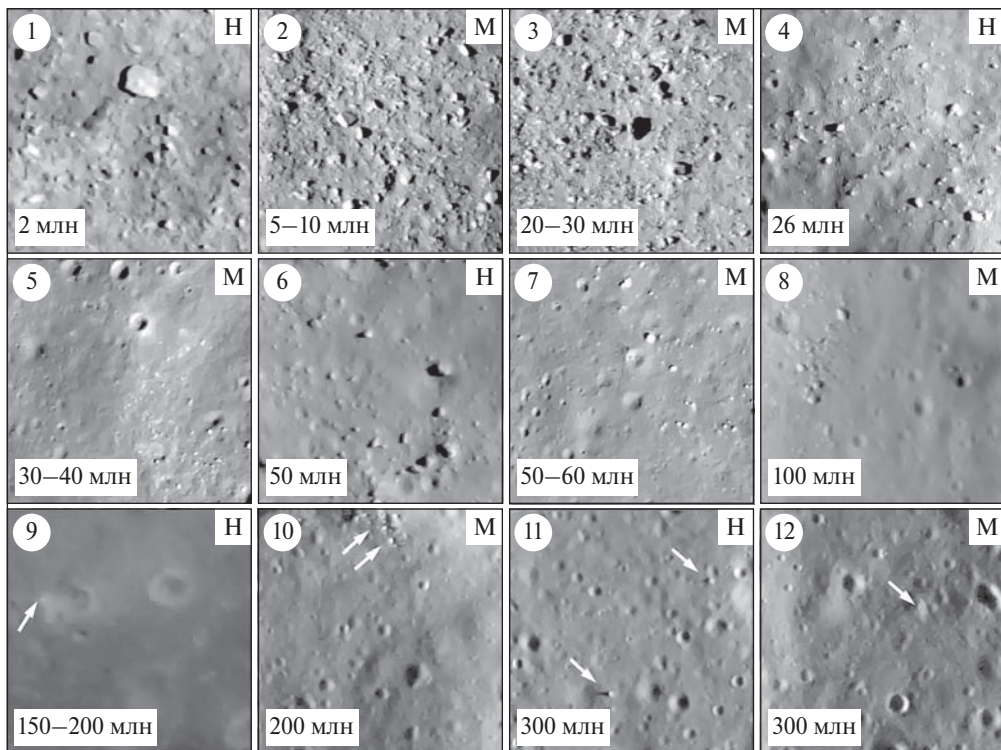
⁹Basilevsky A.T., Kozlova N.A., Zavyalov I.Yu., Karachevtseva I.P., Kreslavsky M.A. Morphometric studies of the Copernicus and Tycho secondary craters on the moon: Dependence of crater degradation rate on crater size // Planetary and Space Science, 2018. V. 62. P. 31–40.

¹⁰Meyer C., Brett R., Hubbard N.J., Morrison D.A., McKay D.S., Aitken F.K., Takeda H., Schonfeld E. Mineralogy, chemistry and origin of the KREEP component in soil samples from the Ocean of Storms / In: Proc. 2nd Lunar Sci. Conf., 1971. P. 393–411; Stoffer D. and Ryder G., 2001.

КАМНИ И ИХ СВЯЗЬ С МАЛЫМИ КРАТЕРАМИ

На валах и внутри молодых кратеров, проникающих через реголит в скальное основание, как правило, наблюдаются камни. В работах автора этой статьи с коллегами¹¹ изучалась распространенность камней поперечником более 2–3 м на валах кратеров с известным абсолютным возрастом. Результаты этих наблюдений, представленные на рисунке (участки 100 × 100 м на валах кратеров), позволили составить диаграмму зависимости количества камней поперечником более 2 м на валах кратеров от возраста этих кратеров (это оценка времени "жизни" камней на поверхности Луны). Видно, что за не-

¹¹Basilevsky A.T., Head J.W., Horz F. Survival times of meter-sized boulders on the surface of the Moon. Planetary and Space Science, 2013. V. 89. P. 118–126; Basilevsky A.T., Head J.W., Horz F., Ramsley K. Survival times of meter-sized rock boulders on the surface of airless bodies / Planetary and Space Science, 2015. V. 117. P. 312–328.



Участки 100×100 м на валах лунных кратеров, абсолютный возраст которых определен по времени экспозиции образцов из районов посадки экспедиций кораблей "Аполлон" или оценен по размеру и степени морфологической выраженности кратеров: 1 – Южный Лучевой (South Ray) в районе посадки "Аполлона-16", 2 – 200-м в окрестностях места посадки "Луны-24", 3 – 400-м в районе посадки "Аполлона-12", 4 – Конус (Cone) в районе посадки "Аполлона-14", 5 – 180-м в районе работы "Лунохода-1", 6 – Северный Лучевой (North Ray) в районе посадки "Аполлона-16", 7 – 450-м Боря в районе работы "Лунохода-1", 8 – Камелот (Camelot) в районе посадки "Аполлона-17", 9 – Призрак (Spook) в районе посадки "Аполлона-16", 10 – Сервейер (Surveyor) в районе посадки "Аполлона-12", 11 – 300-м в районе посадки "Аполлона-14", 12 – Локоть (Elbow) в районе посадки "Аполлона-15". Вверху справа в каждом квадратице указан тип местности: Н – материк (от англ. highland), М – море (от англ. mare); внизу слева – значения возраста (в млн лет). Белые стрелки указывают на камни. Части снимков, полученных с помощью АМС "Лунный орбитальный разведчик". По данным А.Т. Базилевского (2013), с изменениями

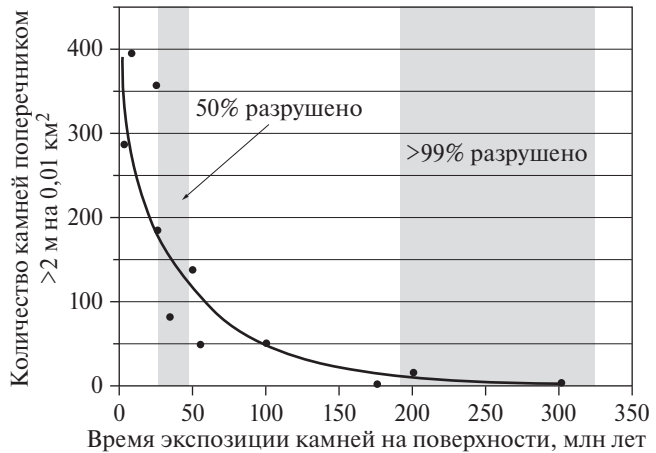
сколько десятков миллионов лет около половины выброшенных на поверхность при образовании кратера камней оказываются разрушены. За 200–300 млн лет разрушаются почти все камни, находящиеся на валу данного кратера. Здесь тоже следует отметить, что эти оценки приблизительные, их точность тоже вряд ли лучше 30–50%.

Камни встречаются не только на валах кратеров, но и на их внутренних

склонах, причем нередко там их больше, чем на валах (причина – в уже упоминавшихся склоновых процессах)¹². Камни на внутренних склонах кратеров разрушаются примерно с такой же

¹² Basilevsky A.T., Mall U., Michael G.G., Kozlova N.A. Rock spatial densities on the rims and interiors of a group of Copernicus secondary craters // Planetary and Space Science, 2019. V. 172. P. 14–21.

Диаграмма оценки времени существования камней поперечником более 2 м на поверхности Луны. По данным А.Т. Базилевского (2015), с изменениями



скоростью, как и на кратерных валах; но на валах камни разрушаются, и их количество с течением времени уменьшается, а на внутренних склонах вместо разрушенных камней появляются новые (они входили в состав поверхностного слоя). При движении вещества слоя под действием силы тяжести вниз по склону оно в определенной степени перемешивается, и некоторые из ранее необнажившихся камней появляются на поверхности, частично компенсируя убыль разрушенных камней.

ПРОЦЕССЫ РАЗРУШЕНИЯ КАМНЕЙ

Возникает вопрос: какие процессы разрушают камни на поверхности Луны? Обсуждаются два процесса: в результате удара метеорита и за счет напряжений, возникающих при изменении температуры поверхности в суточном цикле день–ночь.

Первый процесс можно назвать катастрофическим. В результате сильного метеоритного удара камень раскалывается на обломки разной величины. При этом некоторые “счастливчики” могут долго находиться на поверхности – пока их не достигнет разрушающий удар; другие – “несчастные” – разрушаются вскоре после того, как окажутся на поверхности. Оценки темпа такого разрушения были выполнены на основании результатов эксперимен-

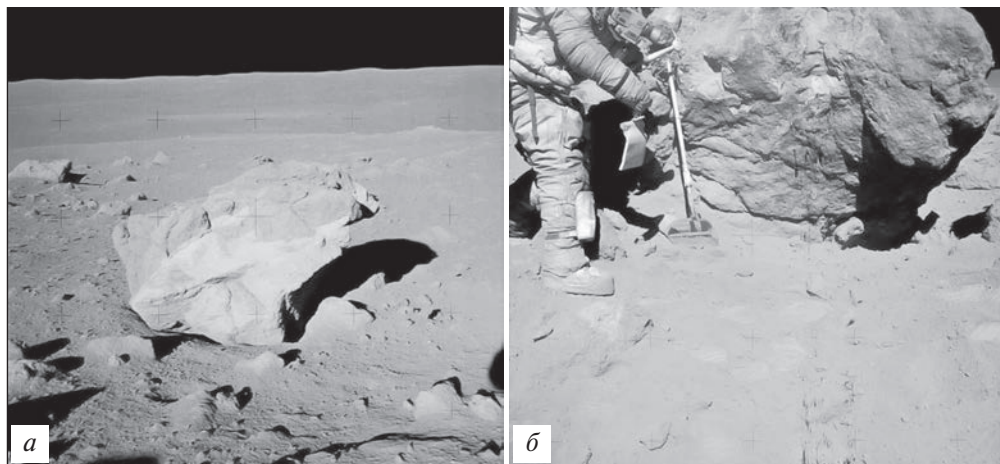
тов по разрушающему воздействию высокоскоростных ударов и оценкам интенсивности метеоритного потока на поверхности Луны¹³. Они, с учетом влияния размеров камня на его прочность¹⁴, хорошо согласуются с нашими результатами.

Второй процесс, вызываемый колебаниями температуры камня, изучался в ряде теоретических работ¹⁵ (с привлечением модельных

¹³Hörz F., Cintala M.J. Collisional fragmentation of granodiorite targets by multiple impact events // Lunar and Planetary Science, 1985. V. 16. P. 364–365; Hörz F., Cintala M.J., See T.H., Cardenas F., Thompson T.D. Collisional fragmentation of granodiorite targets by multiple impact events / LPSC – 26, 1986. P. 364; Cintala M.J., Hörz F. Experimental impacts into chondritic targets, part I: disruption of an L6 chondrite by multiple impacts // Meteorit. Planet. Sci., 2008. V. 43(4). P. 771–803.

¹⁴Housen K.R., Holsapple K.A. Scale effects in strength-dominated collisions of rocky asteroids // Icarus, 1999. V. 142. P. 21–33.

¹⁵Например: Molaro J., Byrne S. Rates of temperature change of airless landscapes and implications for thermal stress weathering // J. Geophys. Res., 2012. V. 117. E10011; Molaro J., Byrne S. Grain-Scale Thermoelastic stresses on airless bodies and implications for rock breakdown // LPSC – 45, 2014. P. 1179.



Крупные камни на валах лунных кратеров в районе работы экспедиции КК "Аполлон-14":
 а – поперечником 2 м на валу кратера Конус (Cone), он пролежал на поверхности Луны 26 млн лет. Снимок № AS14-68-9448 (NASA); б – часть камня поперечником 5 м на валу кратера North Ray, возраст его экспозиции на поверхности ~50 млн лет. Снимок № AS16-116-18653 (NASA)

экспериментов)¹⁶. Последняя работа была посвящена оценке интенсивности разрушения камней не на Луне, а на астероидах, находящихся на таком же расстоянии от Солнца, как и Земля, и имеющих суточный цикл от 2,2 до 6 земных часов и диапазон колебаний температуры поверхности 190–200°. Но оценки, полученные в этой работе, легко пересчитать для случая с Луной, где температурный диапазон – 280–290°, а суточный цикл равен 708 часам.

Коллектив ученых Обсерватории Лазурного берега (Observatoire de la Cote d'Azur, Франция) с коллегами из других французских и американских научных центров под руководством М. Делбо проводили лабораторные эксперименты по разрушению сантиметрового размера образцов обыкновенных и углистых хондритов циклами нагревания и охлажде-

ния. Они наблюдали образование и рост трещин и, когда длина трещины достигала поперечника образца, "камень" считался разрушенным. Полученные данные были сопоставлены с информацией о колебаниях температуры на поверхности рассматриваемых астероидов и сделан вывод о том, что для разрушения камня поперечником около 10 см должно пройти от 1,5 до 4 млн температурных циклов, что соответствует времени 10^3 – 10^4 лет. Из этой работы следовало, что более крупные камни в этом процессе должны разрушаться быстрее.

Автор статьи с коллегами проанализировали результаты лабораторных измерений возрастов экспозиции ряда камней на поверхности Луны и показали¹⁷, что эти камни пробыли на поверхности десятки млн лет, испытав количество циклов колебаний температуры на

¹⁶Delbo M., Libourel G., Wilkerson J., Murdoch N., Michel P., Ramesh K.T., Ganino C., Verati C., Marchi S. Thermal fatigue as the origin of regolith on small asteroids // Nature, 2014. V. 508. P. 233–236.

¹⁷Basilevsky A.T., Head J.W., Hörz F., Ramsley K. Survival times of meter-sized rock boulders on the surface of airless bodies // Planetary and Space Science, 2015. V. 117. P. 312–328.

1,5–3 порядка величины больше, чем критические 1,5–4 млн циклов. Они не несут (или почти не несут) на себе признаков температурной трещиноватости, но зато на их поверхности видны следы от микрометеоритных ударов. Был сделан вывод о том, что процесс разрушения камней метровых размеров на поверхности Луны в результате ударов метеоритов более эффективен, чем их разрушение за счет суточных колебаний температуры; но это, конечно, не означает, что температурные колебания совсем не участвуют в разрушении лунных камней. Причина существенного отклонения оценок от возрастов экспозиции изученных лунных камней, по-видимому, в том, что эти исследователи в своих основополагающих экспериментах считали: камень разрушен, если длина трещины становится равна его поперечнику. Очевидно, что это не так. Камень в этом случае пронизан трещиной (или трещинами), но необязательно перестает быть камнем, и потому оценки времени существования камней должны быть существенно увеличены.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

За последние годы достигнут существенный прогресс в изучении малых кратеров и камней на поверхности Луны. Это произошло, в основном, в результате анализа снимков с разрешением около 1 м, полученных с помощью АМС “Лунный орбитальный разведчик”. Новые данные не противоречат ранее достигнутым представлениям о характере морфологической эволюции кратеров: от относительно глубоких, четко выраженных до неглубоких пологосклонных депрессий. Был подтвержден полученный много лет назад метод оценки абсолютного возраста кратеров. С использованием вновь полученных снимков с помощью АМС “Лунный орбитальный

разведчик” были выявлены ранее не замеченные, очень молодые (не более первых десятков и сотен млн лет) вулканические и тектонические образования¹⁸.

Новые данные подтвердили связь большинства камней метрового размера с выбросами из ударных кратеров, проникшими во время их образования через реголит в скальное основание. Выявлена зависимость количества камней на валах кратеров от их абсолютного возраста. Установлено, что камни на поверхности Луны разрушаются, в основном, в результате метеоритных ударов, и характерное время разрушения камня составляет десятки – первые сотни миллионов лет. По количеству камней на валах кратеров можно оценивать возраст этих кратеров, а по взаимоотношениям датированных кратеров с какими-то другими образованиями поверхности Луны можно оценивать абсолютный возраст этих образований¹⁹.

Достигнутый прогресс важен для изучения новых, ранее плохо исследованных областей лунной поверхности, в том числе для изучения района южного полюса Луны, который рассматривается как объект исследования в будущих российских полетах к этому телу²⁰.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект № 17-17-01149).

¹⁸ *Watters T.R., Robinson M.S., Beyer R.A. and 8 coauthors. Evidence of recent thrust faulting on the Moon revealed by the Lunar Reconnaissance Orbiter Camera // Science, 2010. V. 329. P. 936–940.*

¹⁹ *Yu L., Wu Yu., Michael G.G., Basilevsky A.T., Li C. Young wrinkle ridges in Mare Imbrium: Evidence for very recent compressional tectonism, 2019.*

²⁰ *Zelenyi L.M. Milestones of the Russian space science program for the decade 2016–2025. The Seventh Moscow Solar System Symposium / Space Research Institute / Moscow, Russia, October 10–14, 2016; Moscow, 2016.*