

## О возрасте поверхности Луны

А. А. Баренбаум, М. И. Шпекин

<sup>1</sup> Институт проблем нефти и газа РАН  
[azary@mail.ru](mailto:azary@mail.ru) тел.: 8 (499) 135 7221

<sup>2</sup> Казанский университет

Michael.Shpekin @ksu.ru тел.: 8 (843) 292 7797

*Ключевые слова:* Планеты, кратеры, галактические кометы, вулканические и тектонические процессы.

**Ссылка:** Баренбаум, А. А., М. И. Шпекин (2011), О возрасте поверхности Луны, *Вестник ОНЗ РАН*, 3, NZ6011, doi:10.2205/2011NZ000141.

**Аннотация.** В результате детального анализа крупных кратеров Луны, Земли, Марса и Меркурия получен вывод, что рельеф большей части лунной поверхности сложился в течение последних 5 млн. лет. Главную роль в формировании топографии Луны играли падения на нее галактических комет 5–0.6 млн. лет назад, а также вызванные кометами тектономагматические процессы. Процессы тектоники и вулканизма происходят на Луне и сегодня. Примером тому может служить обнаруженный нами вулкан в кратере Циолковский на обратной стороне Луны. Вулкан имеет высоту 102 м и расположен почти в самом центре днища кратера диаметром 180 км на невысоком овальном возвышении плюмовой природы диаметром 24–26 км.

**Введение.** Считается, что рельеф поверхности Луны, а также Меркурия и Марса сложился более 3 млрд. лет назад вследствие падений на эти небесные тела планетезималей, оставшихся в межпланетном космическом пространстве после образования Солнечной системы [Hiesinger et al., 2010]. Это мнение обосновывают данными по кратерам, а также измерениями изотопного возраста доставленных на Землю образцов пород Луны, свидетельствующих об их образовании 3 и более миллиардов лет назад [Хейс и Волкер, 1975].

Исследования планет космическими аппаратами, выполненные в последние годы, однако, ставят под сомнение столь древний возраст рельефа поверхности, в частности, Луны и Марса. На полюсах этих небесных тел обнаружены большие массы замерзшей воды, причем на Марсе имеются недавно высохшие русла рек [Википедия]. Эти и многие другие факты не находят убедительного объяснения в рамках существующих представлений.

Нами дается иное истолкование наблюдаемым фактам. Оно основано на анализе с позиций галактоцентрической парадигмы [Баренбаум, 2010] распределения на планетах кометных кратеров и открытие в одном из них – кратере Циолковский на Луне современного вулкана [Шпекин, 2009]. Наши исследования показывают, что большая часть поверхности Луны, Марса и Меркурия полностью насыщены такими кратерами. Поскольку их образование сопряжено с выбросом пород с глубин ~3 км и более, то древний возраст доставленных на Землю образцов лунных пород в первую очередь говорит о времени отвердевания их материала, но не о возрасте формирования собственно поверхности Луны.

Ниже приводятся аргументы и факты, свидетельствующие о том, что поверхность Луны вряд ли старше 5 млн. лет, причем процесс ее формирования продолжается поныне.

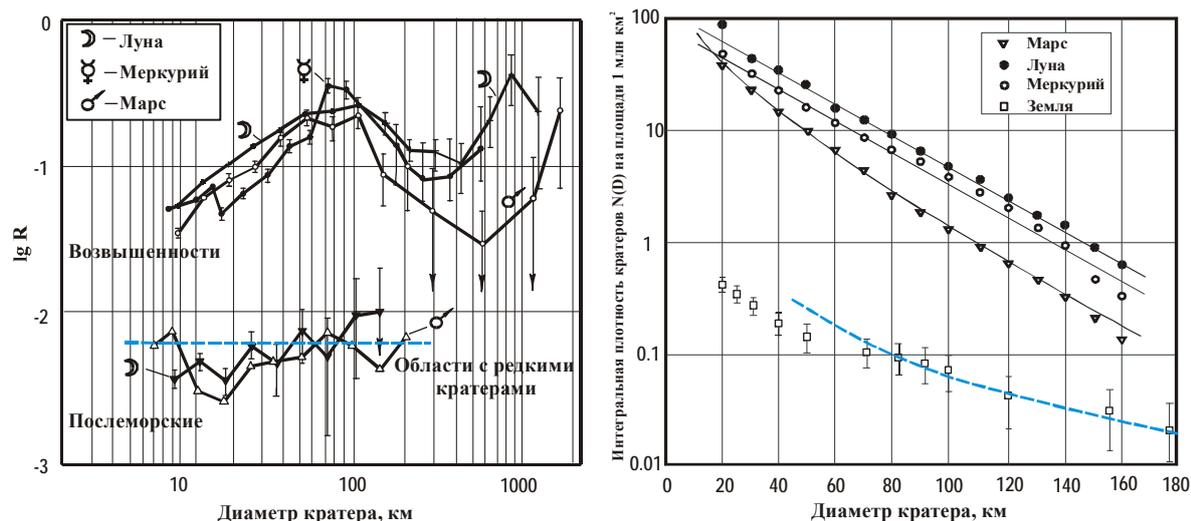
**Общая характеристика рельефа Луны.** Основными топографическими особенностями рельефа поверхности Луны, Марса и Меркурия являются испещренные крупными кратерами возвышенные участки – «континенты» и кратерированные в существенно меньшей степени пониженные участки – «морья». Показательно, что континенты тяготеют к южной полусфере этих небесных тел, а моря в основном располагаются в их северной полусфере.

Важная специфика имеется также в морфологии и распределении кратеров. Согласно [Pike, 1977], на Луне выделяются две популяции кратеров: диаметром  $D < 15$  км и  $D > 15$  км. Первые наиболее многочисленны на морях, а вторые – на континентах. Глубина  $H$  первых примерно равна  $1/5$  их диаметра, а у кратеров второго типа она меньше. Первый тип кратеров имеет простое строение и наилучшим образом описывается зависимостью  $H = 0.196 D^{1.01}$ , тогда как второй устроен сложнее, имеет центральные горки и пологие склоны. В диапазоне

диаметров  $11 \leq D \leq 400$  км эти кратеры следуют зависимости  $N = 1.044D^{0.301}$ . Тем самым при импактном возникновении кратеров на поверхность могут выбрасываться породы с глубин ~3–7 км.

Переход между типами кратеров на кривой  $N(D)$  не носит монотонного характера, образуя область перекрытия. То же самое относится к кратерам на Марсе и Меркурии [Мелюш, 1994].

Своеобразными оказываются распределения кратеров по диаметрам, а также их плотность на континентах и морях (рис. 1-а). Для кратеров с  $D \sim 100$  км их плотность на континентах в 100 раз выше, чем на морях, а при  $D \sim 10$  км это различие снижается до 10. Ощутимые различия в степени кратерирования у разных планет проявляются лишь при  $D > 400$  км, где плотность кратеров на Луне в 4–10 раз выше, чем на Марсе.



**Рис. 1.** Распределение плотности кратеров по диаметрам: а) дифференциальное  $N(\Delta D)$  с шагом  $\Delta D = D \div \sqrt{2}D$  в двойном логарифмическом масштабе [Воронов и др., 1986] и б) интегральное  $N(>D)$  в полулогарифмическом масштабе [Баренбаум, 2010], построенное по данным [Казимиров и др., 1980]. Пунктирная линия на рисунках соответствует обратно квадратичной зависимости от  $D$

Распределения кратеров на Луне, Марсе и Меркурии похожи по конфигурации и близки по числовым параметрам. Причем распределение морских кратеров по диаметрам следует обратно квадратичной зависимости, а континентальные кратеры подчинены экспоненциальному закону. Поскольку последних намного больше, экспоненциальный характер распределения кратеров по диаметрам оказывается свойственным этим планетам в целом (рис 1-б).

Изгиб графиков рис. 1-а для континентов при  $D = 60 \div 100$  км и линейность графиков для морей связывают с двумя [Воронов и др., 1986] или даже тремя [Юри, 1975] разновозрастными бомбардировками космическими телами, частично уничтожавшими следы ранних падений. Моделирование распределения кратеров специальным подбором размеров кратерообразующих тел [Воронов и др., 1986], однако, не дало убедительных результатов [Мелюш, 1994].

Еще труднее объяснить [Маров, 1981] подобие в распределении кратеров у столь разных небесных тел как Луна, Марс и Меркурий, отличающихся геологической историей, силой тяжести на поверхности и удалением от астероидного пояса и Солнца. Основная идея, которая для этого привлекалась, связана с возможностью полного насыщения крупными кратерами, по крайней мере, поверхности материков [Gault, 1970; Базилевский, 1977; Woronov, 1977; Воронов и др., 1986]. Вопрос этот решить так и не удалось. В настоящее время принята точка зрения [Мелюш, 1994], что планеты далеки от состояния насыщения крупными кратерами.

**Новый подход к проблеме.** Следуя [Баренбаум, 2010], при своем движении в Галактике Солнце через каждые 20–37 млн. лет пересекает струйные потоки вещества, истекающего из центра нашей звездной системы. В моменты этих пересечений длительностью ~2–5 млн. лет Солнечная система подвергается интенсивным бомбардировкам галактическими кометами. В

## БАРЕНДАУМ И ШПЕКИН: О ВОЗРАСТЕ ПОВЕРХНОСТИ ЛУНЫ

геологической истории Земли все эти времена отмечены как эпохи глобальных природных катастроф, выступающих границами стратонов современной геохронологической шкалы.

Последняя бомбардировка галактическими кометами имела место в период 5.0–0.6 млн. лет назад на границе неогена и квартера [*Баренбаум и др.*, 2002]. Сегодня эти кометы совершенно недоступны обнаружению с Земли средствами астрономии. Поэтому о свойствах этих объектов мы судим по последствиям их падений на нашу и другие планеты, а также по результатам их столкновений с телами астероидного пояса [*Баренбаум*, 2010].

Имеющиеся данные позволяют заключить, что массы ядер галактических комет меняются в пределах от  $10^{12}$  до  $10^{17}$  г, а их кинетическая энергия составляет от  $10^{20}$  до  $10^{25}$  Дж. Плотность вещества этих комет близка  $1.0 \text{ г/см}^3$ . На 80–90% оно состоит из водяного льда и на ~10-15% из углеродной компоненты. Химические элементы тяжелее углерода и кислорода подчиняются космической распространенности, а их содержание не более процента [*Баренбаум*, 2010].

Падения галактических комет носят характер «кометных ливней», когда за время одной бомбардировки на Землю может выпасть  $\sim 10^4$ – $10^7$  таких тел. В отличие от крупных астероидов и комет Солнечной системы эти кометы характеризуются экспоненциальным распределением по массе и энергии, что вызывает такое же распределение по диаметрам созданных ими кратеров (рис. 1-б).

Число упавших комет при этом столь велико, что даже за одну бомбардировку достигается полное насыщение поверхности кратерами. Теоретическое значение «предельной» плотности кратерирования для Луны, Марса и Меркурия составляет  $\approx 100$  кратеров диаметром  $D \geq 10$  км на площади  $1 \text{ млн. км}^2$  [*Баренбаум*, 2010]. Причем из-за наклона эклиптики на угол  $62^\circ$  к галактической плоскости, в которой движутся кометы, их последняя бомбардировка пришлась в основном на южную полушару планет. Поэтому полное насыщение кратерами свойственно только этому полушарию Луны и Марса. Данные рис. 1-б хорошо подтверждают этот вывод.

Имеется еще одно немаловажное обстоятельство, которое при обсуждении данных рис. 1-б необходимо отметить. Это отсутствие на Земле кратеров, созданных галактическими кометами. Все крупные кратеры на Земле образованы падениями астероидных тел. Распределение этих кратеров по диаметрам в области  $D \geq 70$  км, слабо подверженной наблюдательной селекции, хорошо следует степенной обратно квадратичной зависимости.

Факты и расчеты свидетельствуют, что в атмосферах Земли и Венеры ядра галактических комет неизбежно разрушаются. При этом возникает мощная гиперзвуковая струя [*Баренбаум и Шувалов*, 2007], которая не создает кратера, и вся огромная кинетическая энергия кометы идет на нагрев пород под поверхностью планеты. В дальнейшем эта энергия выделяется в различных тектонических и вулканических процессах [*Баренбаум и др.*, 2004]. Типичными проявлениями этих процессов [*Баренбаум*, 2008] в условиях «тонкой» литосферы является образование подводных гор на Земле и щитовых вулканов на Венере, а при мощном слое литосферы – так называемый феномен «новейших поднятий».

Данное явление состоит в почти синхронном вздымании поверхности на половине площади континентов земного шара последние 5 млн. лет. В этот период значительный подъем испытал Антарктический континент, большая часть Африки, Центральная и Северо-восточная Азия, западные части Северной и Южной Америк, Гвианский и Бразильский щиты, Скандинавские горы, Гренландия, Урал, Сибирская платформа, Альпы и др. структуры [*Артюшков*, 1994].

Высота поднятий сильно варьировала. На большей части побережья Тихого океана она составила первые сотни метров, на Сибирской платформе 200–1000 м, в Южной Африке 300–400 м на западе и 900–1200 м на востоке. Самый быстрый рост происходил в горной местности. Так, Аравийская платформа увеличила высоту на 2 км, Альпы поднялись на 3 км, а Гималаи – на 6 км. Под большинством гор наблюдается подъем астеносферы. На ряде ровных участков поднятие приводит к вздыманию блоков земной коры диаметром  $\sim n \cdot (10-100)$  км на высоту до  $\sim 1$  км при расстоянии между поднятиями больше их диаметра. В отдельных местах подъем астеносферы сопровождался современным интенсивным излиянием магмы [*Артюшков*, 1994].

Схожие процессы происходят на Марсе. Расчеты показывают, что даже в 100 раз менее плотная, чем у Земли, его атмосфера приводит к двум важным физическим эффектам. С одной стороны, она вызывает сильную абляцию ядер галактических комет, что уменьшает диаметр

## БАРЕНДАУМ И ШПЕКИН: О ВОЗРАСТЕ ПОВЕРХНОСТИ ЛУНЫ

образующихся кратеров и сдвигает их распределение на рис. 1-б относительно Луны. А с другой, часть энергии комет идет на нагрев астеносферы под южной полусферой Марса, что объясняет ее вздымание на 2–4 км относительно равнинной и слабо кратерированной северной полусферы. Огромные вулканы Марса, имеющие явные признаки недавней деятельности, возможно, являются каналами вывода избыточной тепловой энергии из астеносферы планеты.

Вулканические и тектонические процессы, хотя и в меньших масштабах, последние 5 млн. лет имели место и на Луне. Продолжаются они и сегодня.

**Современные вулканотектонические процессы на Луне.** Свидетельства таких процессов в виде наклонных «полузатопленных» лавой кратеров, кратеров разбитых разломами и т.п. отмечены многими исследователями. Сама же вулканическая деятельность была установлена на Луне в 1958 году Н.А. Козыревым [1959]. В кратере Альфонс диаметром 120 км на видимой стороне Луны он обнаружил выброс пылевидного вулканического пепла и газа. Спектральный анализ показал наличие в выбросе молекул  $C_2$ , CN и др.

Другим, еще более убедительным примером вулканических процессов является вулкан [Shpekin, 2009], обнаруженный по снимкам 74 витка космического аппарата «Аполлона-17» на днище кратера Циолковский на обратной стороне Луны. Кратер диаметром 180 км характеризуется сложным строением и центральной горкой, типичными для кратеров кометного происхождения. Вулкан высотой 102 м расположен почти в самом центре кратера на невысоком плоском овальном возвышении плюмовой природы диаметром 24–26 км. На снимках высокого разрешения видны потоки лавы, свидетельствующие о почти современном ее извержении из вулкана (рис. 3).

Оценки, выполненные на основе фотограмметрии снимков, показали, что высота вулкана составляет около 102 метров. Диаметр основания вулканического конуса 1760 метров. Склоны вулкана имеют наклон по отношению к днищу кратера порядка 7–8°. Выбросы материала наблюдаются лишь в одном направлении, и это направление указывает на центральную горку кратера Циолковский. Другие характеристики приведены в табл. 1 [Shpekin, 2009; Шпекин и Баренбаум, 2011].

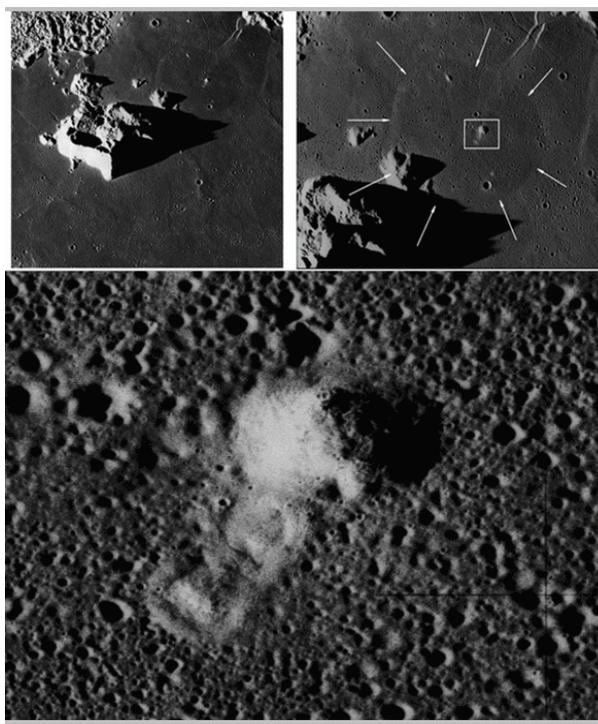


Таблица 1. Оценки параметров плюма и вулкана на днище кратера Циолковский

Плюм	
Диаметр	24 – 26 км
Долгота центра	129 33 E
Широта центра	-19 27 S
Удаление от центр. горки	32 км
Вулкан	
Долгота	129 52 E
Широта	-19 30 S
Диаметр основания	1760 м
Высота конуса	102 м
Жерла в диаметре	50-70 м
Склоны конуса	7-8 градусов
Выбросы материала	2 x 1 км
Удаление от центр. горки	36 км

Рис 2. Вверху слева: центральная часть днища кратера Циолковский. Вверху справа: исследуемый участок восточнее центральной горки.

Рис 3. Внизу: вулкан и его окрестности с материалом выбросов в лучах заходящего Солнца. На Рис 2. эта территория очерчена белым прямоугольником.

(AS17-M-2798. Credit: NASA/JSC/Arizona State University)

При детальном рассмотрении на вершине конуса видны малые кратеры. Вероятно, это жерла, через которые поступал вулканический материал, ныне похожий на застывшую лаву. Поперечник центрального жерла около 50–70 метров. Конус вулкана не содержит малых ударных кратеров, что указывает на его современный возраст. О том же говорят отражательные свойства вулкана, которые заметно светлее окружающей местности, поскольку не успели еще

## БАРЕНДАУМ И ШПЕКИН: О ВОЗРАСТЕ ПОВЕРХНОСТИ ЛУНЫ

покрыться темной лунной пылью. Эти факты свидетельствуют в пользу недавней, и быть может даже современной деятельности вулкана.

Показательно, что вулкан находится в центре невысокого поднятия плюмовой природы. Сочетание этих структур на Земле типично для неглубоко залегающих магматических камер, возникающих в месте падения галактических комет [Баренбаум, 2010а]. Вероятно, такая камера возникла и существует поныне под днищем кратера Циолковский.

### **Заключение и выводы.**

- Время формирования главных топографических структур Луны – ее континентов и морей, как и на всех планетах, не связано однозначно с возрастом слагающих эти структуры пород.

- Главным фактором, определившим современный облик Луны, Марса и Меркурия явилась бомбардировка Солнечной системы галактическими кометами в период 5–0.6 млн. лет назад.

- Множественные падения галактических комет резко активизировали протекание на Луне и планетах тектонических и вулканических процессов, которые продолжаются и поныне.

- Примером этих процессов служит открытый в кратере Циолковский, видимо, действующий вулкан высотой 102 м, венчающий невысокое плюмовое основание диаметром 24–26 км.

В этой связи следует подчеркнуть, что вопрос об образовании геодинамических очагов под крупными ударными кратерами пока совершенно не изучен в теоретическом отношении [Баренбаум, 2010б].

### **Литература**

Артюшков, Е. В. (1994) Новейшие поднятия земной коры на континентах как следствие подъема из мантии крупных масс горячего вещества, *Доклады АН, Т.336, №5*, сс. 680-683.

Базилевский, А. Т. (1973) Распределение по размерам лунных кратеров, *Космические исследования, Т.11, Вып.4*, сс. 612-622.

Баренбаум, А. А. (2008) Процессы в земной коре и верхней мантии: проблемы горообразования и новейших поднятий земной коры, *XIV Межд. конф.: Связь поверхностных структур земной коры с глубинными*, Петрозаводск: Карельский НЦ РАН, Ч.1, сс. 43-47.

Баренбаум, А. А. (2010) *Галактоцентрическая парадигма в геологии и астрономии*. М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ». 544 с.

Баренбаум, А. А. (2010а) Возможный механизм образования дайковых комплексов галактическими кометами, *Материалы XLIII Тектонического совещания: Тектоника и геодинамика складчатых поясов и платформ фанерозоя, Т.1*, М.: ГЕОС, сс. 38-42.

Баренбаум, А. А. (2010б) Моделирование падений на Землю крупных космических тел. Тестирование по данным геологии. Нерешенные вопросы, *Забабахинские научные чтения: сборник материалов X Межд. конф.*, Снежинск: РФЯЦ-ВНИИТФ, сс. 13.

Баренбаум, А. А., Ю. Б. Гладенков, Н. А. Ясаманов (2002) Геохронологические шкалы и астрономическое время, *Стратиграфия. Геологическая корреляция, Т.10, №2*, сс. 3-14.

Баренбаум, А. А. В. Е. Хаин, Н. А. Ясаманов (2004) Крупномасштабные тектонические циклы: анализ с позиций галактической концепции, *Вестник МГУ. Сер.4. Геология, №3*, сс. 3-16.

Баренбаум, А. А., В. В. Шувалов (2007) Моделирование взаимодействия галактических комет с атмосферой, *Физика экстремальных состояний вещества–2007*, Ред. В.Е. Фортов и др. Черноголовка: ИПХФ РАН, сс. 139-140.

Википедия. <http://ru.wikipedia.org/wiki/Марс> (планета)

Воронов, А., Р. Г.Стром, М. Гаркис (1986) Интерпретация кратерной летописи: от Меркурия до Ганимеда и Каллисто, *Спутники Юпитера*, М.: Мир, Ч.2, стр. 5-48.

Казимиров, Д. А., Б. Д. Ситников, Г. А. Порошкова и др. (1980) *Плотность распределения кратеров на Луне, Меркурии и Марсе*, Препринт ГИН-ГАИИШ, М.

Козырев, Н. А. (1959) Вулканическая деятельность на Луне, *Природа, №3*, сс. 84-87.

Мааров, М. Я. (1981) *Планеты Солнечной системы*. М.: Наука, 256 с.

Мелош, Г. (1994) *Образование ударных кратеров. Геологический процесс*, М.: Мир, 336 с.

Хейс, Дж. Ф., Д. Уолкер (1975) Изверженные лунные породы, *Космохимия Луны и планет*. Отв. ред. А.П. Виноградов, М.: Наука, сс. 274-282.

## БАРЕНДАУМ И ШПЕКИН: О ВОЗРАСТЕ ПОВЕРХНОСТИ ЛУНЫ

Шпекин, М. И., А. А. Баренбаум (2011) О природе эндогенной активности в кратере Циолковский на Луне, *Материалы конференции ВНКСФ-17*. Екатеринбург, сс. 476-477.

Юри, Г. (1975) Происхождение Луны и Солнечной системы. В кн.: *Луна*, Ред. С. Ранкорн и Г. Юри, М.: Мир, сс. 287-302.

Gault, D. E. (1970) Saturation and equilibrium conditions for impact cratering on the lunar surface. Criteria and implications, *Radio Sciences*, V.5, p.273-291.

Hiesinger, H., J. W. Head III, U. Wolf, R. Jaumann, G. Neukum (2010) Ages and stratigraphy of lunar mare Frigoris and other nearside maria based on crater size-frequency distribution measurements, *J. Geophys. Res.* V.115, E03003, doi: 10.1029/2009JE003380.

Pike, R. J. (1977) Size-depend in the shape of fresh impact craters on the Moon, *Impact and explosion cratering*, (eds. D. Roddy, R. Pepin, R. Merrill), Pergamon Press. New Work, pp. 489-509.

Shpekin, M. I. (2009) The Last «Apollo» Orbit Pass over the Tsiolkovsky Crater, *Intern. Conf.: Astronomy and World. Heritage: Across Time and Continents*, Kazan. Russia, pp. 219-221. [http://www.ksu.ru/f6/k8/bin\\_files/ols138.pdf](http://www.ksu.ru/f6/k8/bin_files/ols138.pdf).

Woronov, A. (1977) Crater saturation and equilibrium: A Monte Carlo simulation, *J. Geophys. Res.* V.82, pp. 2447-2456.