

Всероссийский форум научной молодёжи «Шаг в будущее»

(Россия, Москва, 25 марта — 30 апреля 2024 г.)

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ УДАРНЫХ КРАТЕРОВ НА ЛУНЕ, МЕРКУРИИ, МАРСЕ И ВЕНЕРЕ

Автор:

Кабанов Александр Александрович, 8 класс
Россия, Московская область, г. Звенигород
МАУДОДТ города Звенигород,
объединение «Живая Вселенная»

Научный руководитель:

Вибе Анжелика Анатольевна,
педагог дополнительного образования,
МАУДОДТ города Звенигород

Я, Вибе А.А., подтверждаю, что данный проект содержит не более 22 страниц,
из них текст статьи и список литературы — не более 11 страниц, приложения —
не более 10 страниц

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ УДАРНЫХ КРАТЕРОВ НА ЛУНЕ, МЕРКУРИИ, МАРСЕ И ВЕНЕРЕ

Кабанов Александр Александрович

Московская область, г. Звенигород, МАУДОДДТ города Звенигород,

объединение «Живая Вселенная», 8 класс

Аннотация. С помощью баз данных о кратерах Луны, Меркурия, Марса и Венеры показано распределение метеоритных кратеров на поверхности этих небесных тел в зависимости от широты места. Сравнение полученных распределений говорит о форме облака астероидов, выпадавших на поверхность Луны, Меркурия, Марса и Венеры. Целью работы является получение представления о форме облаков астероидов, выпадавших на поверхность Луны, Меркурия и Марса во время поздней тяжёлой метеоритной бомбардировки.

Ключевые слова: ударные кратеры, кратеры Луны, Меркурия, Марса, Венеры, поздняя тяжёлая метеоритная бомбардировка, распределение кратеров по широте.

Введение

На Земле, Луне и других твёрдых телах Солнечной системы, имеются *ударные кратеры* — следы падения метеоритов. Насколько равномерно усыпаны кратерами поверхности Луны, Меркурия, Марса и Венеры, можно выяснить, посчитав их количество на различных широтах. Распределение даст представление об облаке обломков, которые падали на Луну, Меркурий, Марс и Венеру. Подобное исследование распределения кратеров по широтным поясам на твёрдых объектах Солнечной системы другими авторами ранее не проводилось.

Цель работы — сравнить распределение кратеров на Луне, Меркурии, Марсе и Венере в зависимости от широты места, чтобы выяснить форму облаков астероидов, выпадавших на поверхность этих небесных тел во время поздней тяжёлой метеоритной бомбардировки.

Задачи работы — с помощью базы данных о кратерах Луны и Венеры выяснить распределение кратеров на Луне, Меркурии, Марсе и на Венере в зависимости от географической широты места, объяснить возможные причины полученного распределения, сделать вывод о форме облака астероидов, выпадавших на поверхность этих небесных тел во время поздней тяжёлой метеоритной бомбардировки.

Ход работы

- 1) Изучить информацию о происхождении кратеров на Луне, Меркурии, Марсе и Венере, о методах их изучения, об исследовании кратеров с помощью космических аппаратов.
- 2) Обработать базы данных кратеров Луны, Меркурия, Марса и Венеры, посчитать количество кратеров по широтным зонам.
- 3) Составить таблицы количества кратеров Луны, Меркурия, Марса и Венеры в зависимости от географической широты места.

4) Сравнить распределение кратеров на Луне, Меркурии, Марсе и Венере, проанализировать полученные результаты, объяснить причины полученного распределения кратеров, сделать вывод об облаке астероидов, окружавших эти тела, показать перспективы работы.

Распределение количества кратеров в зависимости от географической широты места

Чтобы выяснить, на какие области Луны, Меркурия, Марса и Венеры больше всего выпало крупных объектов — экваториальные, средние или полярные — можно посчитать количество кратеров в этих областях. Например, разделить поверхность объекта на 6 широтных зон — северная полярная зона (широты от $+60^\circ$ до $+90^\circ$), северная средняя зона (широты от $+30^\circ$ до $+60^\circ$), северная экваториальная зона (широты от 0° до $+30^\circ$), южная экваториальная зона (широты от 0° до -30°), южная средняя зона (широты от -30° до -60°), южная полярная зона (широты от -60° до -90°) — и посчитать количество попавших в эти зоны кратеров.

В исследовании были использованы: база данных лунных кратеров Lunar crater catalogue LU78287GT (G. Salamunićcar, S. Lončarić, A. Grumpe, C. Wöhler, 2013, Hybrid method for crater detection based on topography reconstruction from optical images and the new LU78287GT catalogue of Lunar impact craters, Advances in Space Research [1], база данных кратеров Меркурия Observations From a Global Database of Impact Craters on Mercury [2], база данных кратеров Марса Mars Crater Catalog v1 Salamunićcar [3] и база данных кратеров Венеры Venus Crater Database [4].

Кроме абсолютного количества кратеров в конкретной широтной зоне было посчитано и относительное количество на единицу площади (на 1 квадратный километр). Относительное количество кратеров на единицу площади высчитывалось, исходя из площади широтных зон. Площадь A зоны, ограниченной кругами разных широт φ_1 и φ_2 , считалась по формуле (1):

$$A=2\pi r^2 (\sin\varphi_1-\sin\varphi_2), \quad (1)$$

где r — радиус Луны (1737 км), Меркурия (2440 км), Венеры (6052 км) или Марса (3386 км), φ_1 и φ_2 — географические широты, которыми ограничена данная зона.

Кратеры на Луне

К настоящему времени Луна является хорошо изученным небесным телом. Из-за отсутствия атмосферы, препятствующей столкновениям, непрерывный дождь из астероидов, метеороидов и комет падает на Луну, оставляя на её поверхности многочисленные ямы. За миллиарды лет в результате этих ударов поверхность Луны оказалась усыпана обломками, начиная от огромных валунов и заканчивая мельчайшей пылью. Очень много на Луне чашеобразных углублений, окруженных кольцевидным приподнятым валом и имеющих сравнительно плоское — дно кратеров. Название было введено Г. Галилеем в 1609 г., когда он

с помощью своего первого телескопа обнаружил на Луне рельеф: горы, равнины и полусферические ямы. Большинство лунных кратеров являются кратерами ударного типа. Отсутствие явных признаков внутренней и внешней активности на ней обусловили хорошую сохранность ударных структур, неравномерное распределение которых показало, что на древних материковых областях ударных кратеров много, а в молодых морях кратерирование минимально [5]. Кратеры различаются по размеру и форме, могут накладываться друг на друга и сглаживаться со временем. Поэтому их идентификация остаётся очень сложной и трудоёмкой задачей. В настоящее время существует около десятка баз данных лунных кратеров, созданных на разных принципах, и число кратеров в них также измеряется десятками тысяч. Самый крупный каталог содержит данные почти о миллионе лунных кратеров [6].

В базе данных лунных кратеров [1] содержатся данные о 78287 кратерах размером от 2 км до 2050 км. Всего было обработано 1710 лунных кратеров диаметром *от 50 км*. Распределение количества кратеров на Луне по зонам в зависимости от географической широты показано в таблице 1.

Таблица 1. Количество ударных кратеров на Луне по широтным зонам

№	Широтная зона	Географические широты φ	Абсолютное количество кратеров	Площадь широтной зоны (км ²)	Кол-во кратеров на 1 км ² (относительное)
1	северная полярная	от +60° до +90°	150 (9%)	2 652 695	$5,65 \times 10^{-5}$
2	северная средняя	от +30° до +60°	269 (16%)	6 821 216	$3,94 \times 10^{-5}$
3	северная экваториальная	от 0° до +30°	349 (20%)	9 473 911	$3,68 \times 10^{-5}$
4	южная экваториальная	от 0° до -30°	413 (24%)	9 473 911	$4,36 \times 10^{-5}$
5	южная средняя	от -30° до -60°	396 (23%)	6 821 216	$5,81 \times 10^{-5}$
6	южная полярная	от -60° до -90°	133 (8%)	2 652 695	$5,01 \times 10^{-5}$

Абсолютное количество лунных кратеров диаметром более 50 км в северной полярной зоне составило 150, в северной средней зоне — 269 кратеров, в северной экваториальной зоне — 349 кратеров, в южной экваториальной зоне — 413 кратеров, в южной средней зоне — 396 кратеров, в южной полярной зоне 133 кратера. *Относительное количество* лунных кратеров диаметром более 50 км в северной полярной зоне оказалось равно $5,65 \times 10^{-5}$, в северной средней зоне — $3,94 \times 10^{-5}$, в северной экваториальной зоне — $3,68 \times 10^{-5}$, в южной экваториальной зоне — $4,36 \times 10^{-5}$, в южной средней зоне — $5,81 \times 10^{-5}$, в южной полярной зоне $5,01 \times 10^{-5}$ кратера на 1 км².

Максимальное *абсолютное количество* лунных кратеров диаметром от 50 км — 413 — оказалось в южной экваториальной зоне; минимальное *абсолютное количество* кратеров — 133 — в южной полярной зоне. Максимальное *относительное количество* кратеров Луны диаметром более 50 км — $5,81 \times 10^{-5}$ кратера на 1 км² — оказалось в южной средней зоне; минимальное *относительное количество* кратеров — $3,68 \times 10^{-5}$ кратера на 1 км² — в северной

экваториальной зоне. В южном полушарии Луны кратеров на 10% больше, чем в северном полушарии.

Так как большая часть кратеров на Луне появилась во время поздней тяжёлой метеоритной бомбардировки практически едино моментно (по геологическим меркам), то можно предположить, что Луну окружало облако астероидов. Это облако было неравномерным, толстым, с увеличением концентрации крупных астероидов к северной полярной зоне и южной средней зоне.

Кратеры на Меркурии

Поверхность Меркурия похожа на лунную. Из-за отсутствия атмосферы планета полностью покрыта бесчисленными кратерами различного диаметра, появившихся в результате ударов метеоритов. Большинство кратеров сформировалось около четырех миллиардов лет назад [7]. Кратеры на Меркурии перекрываются и варьируются от маленьких впадин, имеющих форму чаши, до многокольцевых ударных структур, имеющих в поперечнике сотни километров, например, диаметр равнины Жары свыше 1300 км. Они находятся на разных стадиях разрушения. Есть относительно хорошо сохранившиеся кратеры с длинными лучами вокруг них, которые образовались в результате выброса вещества в момент удара. А некоторые кратеры разрушены очень сильно. Меркурианские кратеры отличаются от лунных меньшим размером окружающего ореола выбросов из-за большей силы тяжести на Меркурии. При одинаковой энергии взрыва площадь, которую покрывает выброс на Меркурии, в 5 раз меньше, чем на Луне [8].

В базе данных кратеров Меркурия [2] содержатся данные о 31600 кратерах размером от 5 до 1595 км. Всего был обработан 2441 кратер Меркурия диаметром *от 50 км* (таблица 2).

Таблица 2. Количество ударных кратеров на Меркурии по широтным зонам

№	Широтная зона	Географические широты φ	Абсолютное количество кратеров	Площадь широтной зоны (км ²)	Кол-во кратеров на 1 км ² (относительное)
1	северная полярная	от +60° до +90°	155 (6%)	5 234 405	$2,96 \times 10^{-5}$
2	северная средняя	от +30° до +60°	393 (16%)	13 459 899	$2,92 \times 10^{-5}$
3	северная экваториальная	от 0° до +30°	530 (22%)	18 694 304	$2,84 \times 10^{-5}$
4	южная экваториальная	от 0° до -30°	608 (25%)	18 694 304	$3,25 \times 10^{-5}$
5	южная средняя	от -30° до -60°	536 (22%)	13 459 899	$3,98 \times 10^{-5}$
6	южная полярная	от -60° до -90°	219 (9%)	5 234 405	$4,18 \times 10^{-5}$

Абсолютное количество кратеров Меркурия диаметром более 50 км в северной полярной зоне составило 155 кратеров, в северной средней зоне — 393, в северной экваториальной зоне — 530, в южной экваториальной зоне — 608, в южной средней зоне — 536, в южной полярной зоне 219 кратеров. *Относительное количество* кратеров Меркурия размером от 50 км в северной полярной зоне оказалось равно $2,96 \times 10^{-5}$, в северной средней зоне — $2,92 \times 10^{-5}$, в северной экваториальной зоне — $2,84 \times 10^{-5}$, в южной экваториальной

зоне — $3,25 \times 10^{-5}$, в южной средней зоне — $3,98 \times 10^{-5}$, в южной полярной зоне $4,18 \times 10^{-5}$ кратера на 1 км^2 .

Максимальное *абсолютное количество* кратеров Меркурия диаметром от 50 км — 608 — оказалось в южной экваториальной зоне; минимальное *абсолютное количество* кратеров — 155 — в северной полярной зоне. Максимальное *относительное количество* кратеров Меркурия диаметром более 50 км — $4,18 \times 10^{-5}$ кратера на 1 км^2 — оказалось в южной полярной зоне; минимальное *относительное количество* кратеров — $2,84 \times 10^{-5}$ кратера на 1 км^2 — в северной экваториальной зоне. В южном полушарии кратеров на 11% больше, чем в северном полушарии.

Таким образом, облако астероидов вокруг Меркурия было неравномерным, толстым, с увеличением концентрации крупных астероидов к южной полярной и средней зонам.

Кратеры на Марсе

На Марсе имеется много кратеров, образованных ударами о его поверхность метеоритов, астероидов и комет. Облик большей части южного полушария Марса определяют относительно крупные кратеры (диаметром более 15 км) и кольцевые кратерные бассейны, сформировавшие сильно кратерированные местности. Самые крупные ударные структуры Марса — многокольцевые бассейны Эллада, Исида и Аргир — имеют диаметр 2000, 1100 и 900 км соответственно. Кроме них на Марсе известно еще около 37 многокольцевых бассейнов меньших размеров. Для Марса характерно отсутствие мелких кратеров размером менее нескольких десятков метров. Это объясняется не только наличием эрозионных процессов на поверхности (песчаные и пылевые бури), но и разрушением мелких метеоритных тел в марсианской атмосфере. При этом если на ранних стадиях планетной истории (более 4 млрд. лет назад) интенсивность ударных процессов была наибольшей, то в период 3,8-3,5 млрд. лет назад она резко сократилась и продолжала последовательно затухать, и в дальнейшем роль кратерообразования в формировании облика поверхности планеты стала второстепенной [9].

Марс обладает значительным разнообразием типов ударных кратеров по сравнению с другими планетами Солнечной системы. Это объясняется наличием под поверхностью планеты слоёв каменного и летучего вещества, что создаёт разные типы кратеров даже при одинаковом размере. Атмосфера Марса также влияет на распределение выброшенного при ударе вещества и последующую эрозию. Плотность распределения кратеров наиболее велика в южном полушарии, здесь находится большинство крупных кратеров и котловин. Некоторые каталоги кратеров Марса содержат данные о почти 42 тысячах ударных кратеров диаметром более 5 км, более мелкие кратеры выявить крайне сложно [10].

В базе данных кратеров Марса [3] содержатся данные о 130301 кратере размером от 2 до 1567 км. Всего было обработано 1795 кратеров Марса размером более 50 км (таблица 3).

Таблица 3. Количество ударных кратеров на Марсе по широтным зонам

№	Широтная зона	Географические широты φ	Абсолютное количество кратеров	Площадь широтной зоны (км ²)	Кол-во кратеров на 1 км ² (относительное)
1	северная полярная	от +60° до +90°	13 (1%)	10 080 025	$0,13 \times 10^{-5}$
2	северная средняя	от +30° до +60°	120 (7%)	25 920 063	$0,46 \times 10^{-5}$
3	северная экваториальная	от 0° до +30°	361 (20%)	36 000 088	$1,00 \times 10^{-5}$
4	южная экваториальная	от 0° до -30°	581 (32%)	36 000 088	$1,61 \times 10^{-5}$
5	южная средняя	от -30° до -60°	546 (30%)	25 920 063	$2,11 \times 10^{-5}$
6	южная полярная	от -60° до -90°	173 (10%)	10 080 025	$1,72 \times 10^{-5}$

Абсолютное количество марсианских кратеров диаметром более 50 км в северной полярной зоне составило 13 кратеров, в северной средней зоне — 120, в северной экваториальной зоне — 361, в южной экваториальной зоне — 581, в южной средней зоне — 546, в южной полярной зоне 173 кратера. *Относительное количество* кратеров Марса размером от 50 км в северной полярной зоне оказалось равно $0,13 \times 10^{-5}$, в северной средней зоне — $0,46 \times 10^{-5}$, в северной экваториальной зоне — $1,00 \times 10^{-5}$, в южной экваториальной зоне — $1,61 \times 10^{-5}$, в южной средней зоне — $2,11 \times 10^{-5}$, в южной полярной зоне $1,72 \times 10^{-5}$ кратера на 1 км².

Максимальное *абсолютное количество* кратеров Марса диаметром более 50 км — 581 — оказалось в южной экваториальной зоне; минимальное *абсолютное количество* кратеров — 13 — в северной полярной зоне. Максимальное *относительное количество* кратеров Марса диаметром более 50 км — $2,11 \times 10^{-5}$ кратера на 1 км² — оказалось в южной средней зоне; минимальное *относительное количество* кратеров — $0,13 \times 10^{-5}$ кратера на 1 км² — в северной полярной зоне. В южном полушарии кратеров на 44% больше, чем в северном полушарии.

В полярных зонах Марса, особенно в северной полярной зоне, кратеров оказалось мало даже по сравнению с Луной, поскольку там присутствуют полярные шапки. В северном полушарии Марса имеется огромный ударный бассейн, при образовании которого также могла стереться часть кратеров. Таким образом, Марс окружало облако астероидов, имевшее большую концентрацию к южной средней зоне.

Кратеры на Венере

Из-за толстого облачного покрова поверхность Венеры невозможно сфотографировать. С Земли первые радиолокационные исследования Венеры в начале 1970-х гг. проводились вблизи её нижнего соединения, когда планета была наиболее близка к Земле. Поэтому первая радиолокационная карта охватывала только одно полушарие планеты, точнее, 30% всей поверхности. Первые топографические карты были невыразительными, так как Венера оказалась равнинной планетой. Подробности появились вместе с новыми мощными инструментами космических исследований — радиолокаторами бокового обзора, установленными на советских КА «Венера-15» и «Венера-16», запущенных в 1983 г. В общей

сложности было картировано 66% территории северного полушария Венеры, включая район полюса с разрешением до 1 км. Было выявлено почти 150 ударных элементов. Лучшее разрешение, до 120 м, было получено американским орбитальным космическим аппаратом «Магеллан», который работал с 1990 по 1994 гг. и выполнил картографирование около 98% поверхности планеты [11]. Плотность кратерирования Венеры примерно в 200 раз меньше, чем на Луне, и в 100 раз меньше, чем на Марсе. Это говорит о том, что поверхность Венеры моложе других планет земной группы, её возраст всего несколько сотен миллионов лет. Учёные-планетологи считают, что поверхность Венеры практически целиком обновилась в результате мощной вулканической активности около 500-800 миллионов лет назад. После этого периода скорость процессов снизилась, и начали накапливаться ударные кратеры, к сегодняшнему времени претерпевшие незначительные изменения [12].

Всего на поверхности планеты обнаружено менее 1000 метеоритных кратеров размером от 1,3 до 270 км. При этом на Венере мало мелких кратеров, по сравнению с Меркурием, Луной и другими подобными телами, потому что небольшие метеориты сгорают в плотной атмосфере Венеры до того, как ударяются о поверхность. Это соображение подтверждает наличие на поверхности небольших кратеров неправильной формы и групп кратеров, что указывает на торможение и распад импакторов в атмосфере [11]. Существующие крупные кратеры не содержат следов более поздней вулканической активности, что указывает на то, что падение произошло после завершения фазы активного вулканизма на планете. Согласно данным радарной съёмки, их поверхность не была сглажена какой-либо эрозией и не была заполнена принесёнными осадочными породами. Случайное распределение кратеров по поверхности — без областей с их более плотным расположением — служит свидетельством того, что поверхность всей планеты имеет одинаковый возраст [13].

В базе данных кратеров Венеры Venus Crater Database содержатся данные о 967 кратерах размером от 1,3 до 270 км. Всего было обработано 967 кратеров Венеры (таблица 4).

Таблица 4. Количество ударных кратеров на Венере по широтным зонам

№	Широтная зона	Географические широты φ	Абсолютное количество кратеров	Площадь широтной зоны (км ²)	Кол-во кратеров на 1 км ² (относительное)
1	северная полярная	от +60° до +90°	85 (9%)	32 202 198	$0,26 \times 10^{-5}$
2	северная средняя	от +30° до +60°	168 (17%)	82 805 652	$0,20 \times 10^{-5}$
3	северная экваториальная	от 0° до +30°	265 (27%)	115 007 850	$0,23 \times 10^{-5}$
4	южная экваториальная	от 0° до -30°	221 (23%)	115 007 850	$0,19 \times 10^{-5}$
5	южная средняя	от -30° до -60°	159 (17%)	82 805 652	$0,19 \times 10^{-5}$
6	южная полярная	от -60° до -90°	69 (7%)	32 202 198	$0,21 \times 10^{-5}$

Абсолютное количество кратеров Венеры в северной полярной зоне составило 85 кратеров, в северной средней зоне — 168, в северной экваториальной зоне — 265, в южной экваториальной зоне — 221, в южной средней зоне — 159, в южной полярной зоне 69

кратеров. *Относительное количество* кратеров Венеры диаметром от 1,3 км в северной полярной зоне оказалось равно $0,26 \times 10^{-5}$, в северной средней зоне — $0,20 \times 10^{-5}$, в северной экваториальной зоне — $0,23 \times 10^{-5}$, в южной экваториальной зоне — $0,19 \times 10^{-5}$, в южной средней зоне — $0,19 \times 10^{-5}$, в южной полярной зоне $0,21 \times 10^{-5}$ кратера на 1 км^2 .

Максимальное *абсолютное* количество кратеров Венеры диаметром более 1,3 км — 265 — оказалось в северной экваториальной зоне; минимальное *абсолютное* количество кратеров — 69 — в южной полярной зоне. Максимальное *относительное* количество кратеров Венеры диаметром более 1,3 км — $0,26 \times 10^{-5}$ кратера на 1 км^2 — оказалось в северной полярной зоне; минимальное *относительное количество* кратеров — $0,19 \times 10^{-5}$ кратера на 1 км^2 — в южной экваториальной и южной средней зонах. В южном полушарии кратеров на 6% меньше, чем в северном полушарии.

На Венере сохранились только те кратеры, которые появились после обновления поверхности в результате активной вулканической деятельности около 500-800 млн. лет назад. Поэтому можно судить только об остатке облака астероидов, окружавших планету *после* периода поздней тяжёлой бомбардировки. В этом остаточном облаке концентрация крупных объектов пришлось на северное полушарие Венеры, то есть облако обломков было толстым и неравномерным с концентрацией обломков в области северного полюса.

Результаты и обсуждение

В результате подсчёта количества кратеров получилось, что в южных полушариях Луны, Меркурия и Марса кратеров больше, чем в северных полушариях. Сравнение плотности кратеров на Луне, Меркурии, Марсе и Венере по широтным зонам показывает, что больше всего астероидов падало на Луну, Меркурий и Марс в области южных широтных зон (то есть в южном полушарии), а на Венеру в северных широтных зонах (таблица 5).

Таблица 5. Сравнение плотности кратеров на Луне, Меркурии, Марсе и Венере по широтным зонам

№	Широтная зона	Относительное кол-во кратеров			
		на Луне	на Меркурии	на Марсе	на Венере
1	северная полярная	$5,65 \times 10^{-5}$	$2,96 \times 10^{-5}$	$0,13 \times 10^{-5}$	$0,26 \times 10^{-5}$
2	северная средняя	$3,94 \times 10^{-5}$	$2,92 \times 10^{-5}$	$0,46 \times 10^{-5}$	$0,20 \times 10^{-5}$
3	северная экваториальная	$3,68 \times 10^{-5}$	$2,84 \times 10^{-5}$	$1,00 \times 10^{-5}$	$0,23 \times 10^{-5}$
4	южная экваториальная	$4,36 \times 10^{-5}$	$3,25 \times 10^{-5}$	$1,61 \times 10^{-5}$	$0,19 \times 10^{-5}$
5	южная средняя	$5,81 \times 10^{-5}$	$3,98 \times 10^{-5}$	$2,11 \times 10^{-5}$	$0,19 \times 10^{-5}$
6	южная полярная	$5,01 \times 10^{-5}$	$4,18 \times 10^{-5}$	$1,72 \times 10^{-5}$	$0,21 \times 10^{-5}$

Это означает, что Луну, Меркурий и Марс окружали *похожие облака астероидов*, с концентрацией крупных фрагментов в южном полушарии. Облака астероидов были толстыми и неоднородными и не имели форму кольца, как у Сатурна. Кроме того, в целом на Луне плотность кратеров в 1,2-1,9 раз выше, чем на Меркурии, и гораздо выше, чем на Марсе и Венере, в соответствующих зонах.

Наличие большого количества кратеров на Луне, планетах земной группы и спутниках планет-гигантов позволяет говорить о том, что через 600 миллионов лет после формирования Солнечной системы число столкновений этих объектов с более мелкими объектами (астероидами) существенно возросло. Данная аномалия получила название «поздняя тяжёлая метеоритная бомбардировка» — это период от 4,1 до 3,8 миллиардов лет назад. В течение этого периода, возможно, Юпитер, Сатурн и Нептун меняли свои орбиты. Из-за резких изменений притяжения планет-гигантов астероиды выбросило со стабильных орбит, и их новые орбиты стали пересекаться с Меркурием, Венерой, Землей и Марсом. Таким образом все планеты земной группы подверглись массивной бомбардировке метеоритами, которые практически ежедневно падали на их поверхность [14].

Перспективы исследования

Для получения полного представления об облаке обломков, послужившем причиной поздней метеоритной бомбардировки планет и спутников Солнечной системы, можно исследовать распределение кратеров на Луне, Меркурии и Марсе меньшего диаметра, например от 10 или 20 км, и сравнить с данными о крупных кратерах, а также провести подобное исследование для спутников Юпитера Ганимеда и Каллисто.

Исследование кратеров Луны, планет земной группы и других твёрдых объектов Солнечной системы позволяет более подробно узнать о периоде поздней тяжёлой метеоритной бомбардировки центральной части Солнечной системы и самой Земли. Изучение кратеров остаётся очень сложной, интересной и трудоёмкой задачей, которую можно решить с помощью космических аппаратов, предоставляющих фотографии поверхности с большим разрешением, а также с применением новейших технологий, например, искусственного интеллекта, позволяющего обнаруживать неочевидные и плохо заметные кратеры [15]. А обширные знания о происхождении и составе лунных кратеров пригодятся в будущем при выборе места для постройки лунной базы [16].

Заключение

В работе получены уникальные результаты, дающие представление о форме облаков астероидов, выпадавших на Луну, Меркурий и Марс во время поздней тяжёлой метеоритной бомбардировки. В результате анализа баз данных кратеров Луны, Меркурия, Марса и Венеры посчитана плотность 1710 кратеров на поверхности Луны размером более 50 км, 2441 кратер Меркурия размером более 50 км, 1795 кратеров Марса размером более 50 км, 967 кратеров Венеры размером более 1,3 км. Получено распределение количества ударных кратеров по широтным зонам, сделан вывод о форме облака астероидов, выпадавших во время поздней тяжёлой метеоритной бомбардировки на Луну, Меркурий и Марс. Цель работы достигнута, работа выполнена полностью.

Список источников и литературы

1. База данных Lunar crater catalogue LU78287GT (G. Salamunićar, S. Lončarić, A. Grumpe, C. Wöhler, 2013, Hybrid method for crater detection based on topography reconstruction from optical images and the new LU78287GT catalogue of Lunar impact craters, Advances in Space Research, accepted. URL: <http://dx.doi.org/10.1016/j.asr.2013.06.024>
2. База данных кратеров Меркурия Observations From a Global Database of Impact Craters on Mercury <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1029/2017JE005516>
3. База данных кратеров Марса Mars Crater Catalog v1 Salamunićar https://astrogeology.usgs.gov/search/map/Mars/Research/Craters/GoranSalamuniccar_MarsCraters
4. База данных Venus Crater Database <https://astrogeology.usgs.gov/search/map/Venus/venuscraters>
5. Шевченко М.Ю. Луна. Наблюдая за самым знакомым и невероятным небесным объектом. / М.Ю. Шевченко. — М.: АСТ, 2020. — 192 с.: ил. — (Как наблюдать за звёздами).
6. На Луне намного больше кратеров, чем мы думали (new-science.ru)
7. Меркурий — Википедия (wikipedia.org)
8. Солнечная система / Ред.-сост. В.Г. Сурдин. — М.: ФИЗМАТЛИТ, 2008. — 400 с. — (Астрономия и астрофизика).
9. Геология Марса — Википедия (wikipedia.org)
10. Рельеф и геологическое строение Марса (astronaut.ru)
11. Картография Венеры | это... Что такое Картография Венеры? (academic.ru)
12. Новая карта рельефа Венеры (narod.ru)
13. Геология Венеры — Википедия (wikipedia.org)
14. Когда происходила древняя бомбардировка тел солнечной системы кратко (obrazovanie-gid.ru)
15. На Луне намного больше кратеров, чем мы думали (new-science.ru)
16. Маров М.Я. Космос: От Солнечной системы вглубь Вселенной. — М.: ФИЗМАТЛИТ, 2016. — 536 с.