

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ Н.Г.
ЧЕРНЫШЕВСКОГО»

Кафедра геоморфологии и геоэкологии

**Сравнительная характеристика морфометрических показателей
рельефа Земли и Марса (на примере кратеров Вредефорт и Езеро)**

АВТОРЕФЕРАТ БАКАЛАВРСКОЙ РАБОТЫ

студента(ки) 4 курса 421 группы

направления 05.03.02 География

географического факультета

Саенко Евгения Сергеевича

Научный руководитель
старший преподаватель

должность, уч. степень, уч. звание

подпись, дата

Д.П. Хворостухин

инициалы, фамилия

Зав. кафедрой
к.с-х.н., доцент

должность, уч. степень, уч. звание

подпись, дата

В.А. Гусев

инициалы, фамилия

Саратов 2023

Введение

Изучение космических объектов является важным элементом в познании нашего мира. Земля и Марс на данный момент наиболее исследованные объекты как нашей в нашей солнечной системе, так и в космосе в целом. Актуальность представленной работы заключается в том, что сравнение рельефа данных планет должно помочь лучше понять природу и уникальность процессов, происходящих на обеих планетах.

Именно поэтому работа посвящена сравнению двух схожих объектов: кратера Вредефорт на Земле и кратера Езеро на Марсе. Оба объекта представляют научный интерес и выбраны не случайно. Исследование направлено на выявление сходств и различий данных территорий, а также на проведение морфометрического анализа данных.

В данной работе рассматриваются основные особенности выбранных кратеров, приведены понятия о морфометрическом анализе и данных дистанционного зондирования, а также рассмотрены основные морфометрические признаки.

Цель работы - проведение сравнительной характеристики морфометрических показателей кратера Вредефорт и кратера Езеро.

Для достижения цели работы были поставлены следующие цели задачи:

- Рассмотреть общие характеристики изучаемых планет;
- Выбрать территории для сравнения;
- Создать карты по основным морфометрическим показателям;
- Создать таблицу морфометрических характеристик изучаемых объектов;
- Произвести анализ на основе полученных данных.

Работа состоит из введения, трех разделов, заключения и списка использованных источников из 20 пунктов, в том числе из 12 интернет – ресурсов и 6 приложений. В дипломной работе предоставлено 8 рисунков и 1 таблица.

Методы исследования: методы теоретического анализа, картографический, морфометрический анализ.

Фактический материал: ученые и научные публикации, картографический материал, интернет-ресурсы.

Структура и объем работы: Работа состоит из введения, трех разделов, заключения и списка использованных источников из 20 пунктов, в том числе из 12 интернет – ресурсов и 6 приложений. В дипломной работе предоставлено 8 рисунков и 1 таблица. Общий объем составляет 47 страниц.

1 Планетология

Данный раздел дает общее представление о планетах земной группы и их характеристиках. В нашей Солнечной системе существуют два типа планет: планеты земной группы и «газовые гиганты». Данное разделение стоит воспринимать буквально, так как первые в действительности очень схожи с Землей, а остальные состоят из газов и не имеют твердой оболочки.

Главное черта, объединяющая землеподобные планеты – это их твердость. У них есть плотная поверхность, на которую, теоретически, может приземлиться космический корабль. Астрономы допускают, что в космосе есть «водные» миры – планеты, чья поверхность представляет собой сплошной океан. Они также могут быть отнесены к земной группе, важно лишь, чтобы граница между атмосферой и жидкой поверхностью была абсолютно четкой.

Следующая важная черта планет земной группы – это их скромные размеры. Для иллюстрации сравним Землю, наибольшую в Солнечной системе планету с твердой оболочкой, и Нептун, наименьший газовый гигант. Радиус Нептуна больше примерно в 4 раза (24622 км против 6371 км), а по массе он превосходит Землю в 17 раз. Размеры Меркурия ещё скромнее – он в 20 раз легче Земли и имеет радиус в 2439 км. Венера почти совпадает по габаритам с Землей, а радиус Марса не превышает 3389 км.

В химическом составе земледобных планет преобладают кремний, железо, кислород, магний и другие металлы. Надо отметить, что большая доля кислорода связана с тем, что этот элемент образует оксиды с металлами.

Строение земледобных планет схоже. У них есть ядро, которое в основном состоит из железа, хотя в нем есть и доля никеля. Считается, что у Меркурия ядро жидкое, а у других планет – твердое. Над ядром располагается мантия. Ее сложно назвать твердой, но и жидкостью в традиционном для нас смысле она не является. Вязкость магмы в триллионы раз превышает вязкость песка. Над мантией располагается твердая и обычно тонкая кора планеты (Планеты земной группы... [Электронный ресурс], 2023).

Основными источниками энергии в недрах планет является радиоактивный распад элементов и гравитационная дифференциация вещества. Второй процесс представляет собой постепенное перераспределение вещества по глубине в соответствии с плотностью – тяжелые фрагменты тонут, легкие всплывают. Такое перераспределение на Земле еще далеко до завершения. Вещество внутри Земли непрерывно перемещается, этому способствует не только гравитационная дифференциация, но и осевое вращение. Движение как в вертикальном, так и в горизонтальном направлении сопровождается фазовыми переходами и изменениями химического состава горных пород и минералов. Эндегенные (внутренние, глубинные) процессы влияют на земную кору, вызывая перемещения отдельных ее участков – литосферных плит, деформацию, горообразование, вулканические процессы, землетрясения. Судя по характеру поверхности среди планет земной группы, Земля в тектоническом отношении наиболее активна, за ней следуют Венера и Марс. Поверхности планет и их спутников формируются под действием как эндогенных процессов, так и экзогенных (внешних). Одним из важнейших экзогенных процессов является переработка поверхности планет падающими на нее метеоритными телами, образующими характерные кратеры и

измельчающими материал поверхности. К экзогенным процессам относятся также механическая эрозия под действием ветра (коррозия), осадков, воды, ледников, химическое взаимодействие поверхности с атмосферой и гидросферой. На Земле к перечисленным факторам добавляется воздействие биосферы. Строение поверхности определяется тем, какие процессы главенствуют в различные периоды времени (Тебиева, Д.И., 2015).

Наиболее типичными формами рельефа Земли, Марса и Венеры является: 1) континентальные блоки и океанические впадины. Это наиболее крупномасштабные элементы рельефа; 2) горные цепи хорошо выражены только на Земле. Это складки тектонического происхождения; 3) вулканы имеются на Земле, Марсе, Венере. Из них действующие – только на Земле; 4) долины тектонического происхождения («разломы») имеются на Земле, Венере и Марсе; 5) метеоритные кратеры – наиболее распространенная форма рельефа на поверхности Меркурия, Луны, спутников Марса – Фобоса и Деймоса; 6) бассейны – приблизительно круглые низменности, заполненные застывшей лавой. Они имеют диаметр от нескольких сот до 1000 км. Наиболее четко бассейны выражены на Луне, но имеются также на Марсе и Меркурии; 7) образования, связанные с водной и ледниковой эрозией, а также с эоловой деятельностью (перенос пылевого вещества ветром), наблюдаются на Земле и Марсе (Рускол, Е.Л., 2002).

2 Основные методы изучения планет

Обновление технической базы и постоянное совершенствование методов изучения нашей планеты позволяет нам осваивать и анализировать огромные количества информации. В настоящее время одним из главных способов изучения нашей планеты является метод дистанционного зондирования. К основным достоинствам дистанционного зондирования можно отнести возможность мониторинга или регулярных наблюдений за динамикой географических процессов.

Дистанционные методы исследования окружающей среды были известны еще в древнем Риме. В XVIII в. люди научились получать первые

снимки-рисунки различных объектов с помощью фотокамеры — камеры-обскуры. С развитием фотографии появилась возможность моментально получать детальные и точные снимки. Сначала проводилась фотосъемка местности (с воздушных шаров и воздушных змеев, позднее — с аэростатов и аэропланов). Первый космический снимок Земли был сделан в 1960 г.

За последние годы развитие компьютерных технологий и ГИС привели к тому, что данные спутникового мониторинга нашли применение в самых разных областях — от сельского хозяйства до геоэкологии. Это позволило оперативно реагировать на малейшие изменения в окружающей среде и предупреждать опасные явления и процессы.

На сегодняшний день практически не осталось направлений в исследовании Земли, в которых бы не использовались космические снимки. Применение спутникового мониторинга дает возможность управлять территориями, правильно и своевременно принимать решения в случае возникновения чрезвычайной ситуации (Дистанционные методы... [Электронный ресурс], 2023).

Марс как планета наиболее схожая с Землей в общих параметрах всегда привлекала много внимания со стороны ученых. Теории построенные вокруг «Красной планеты» начали проверяться с достижением необходимого прогресса в технологической части исследований (Лаверов, Н.П., 2012).

3 Морфометрический анализ

Морфометрический анализ — это метод вычисления количественных характеристик на основе имеющихся данных карт, аэрофотосъемки и т.д. Для проведения сравнения Марса и Земли были найдены гипсометрически схожие территории на обеих планетах. Выбор пал на два интереснейших геолого-геоморфологических образования: кратер Вредефорт на Земле и Езеро на Марсе.

Кратер Вредефорт (Рисунок 3.1) (Кратер Вредефорт... [Электронный ресурс], 2023) является ударным и находится на дистанции 120 километров от центральной части города, расположенного в Южноафриканской

Республике (Йоханнесбург). Его диаметр сечения составляет от 250 до 300 километров. Поэтому он самый крупный на всей планете, только если не принимать во внимание участок, который так и остался неизученным и находится на территории Антарктиды.

Возраст объекта составляет более 2 млрд лет (погрешность 4 млн лет). Это кольчатое ударное тело, которое можно встретить в прочих областях Солнечной системы. В качестве распространенного примера такого феномена стоит выделить Вальхалла на спутниковом теле Юпитера.

Кратер Езеро (Рисунок 3.2) (Фототур по кратеру Езеро... [Электронный ресурс], 2023) расположен в умеренных широтах северного полушария Марса, на уровне, примерно соответствующем нулевой отметке высот. Он находится на границе между возвышенностями, занимающими большую часть южного полушария планеты, и северными низменностями, где когда-то был океан.

Именно сюда примерно 3,83–3,99 млрд лет назад ударил крупный метеорит, образовавший кратер почти правильной круглой формы диаметром 45 км. Если сравнить его с объектами на Земле, то в нем мог полностью поместиться Киев.

Тем временем на Марсе происходила смена климата. Первоначальная водородная атмосфера начала заменяться углеродно-кислородной. Северные низменности залил океан, одним из больших заливов которого стала впадина Исида. К морю с гор побежали потоки воды, а кратеры на их пути превратились в проточные озера.

Ученые до сих пор не смогли прийти к единому мнению относительно того, сколько времени в кратере Езеро существовало озеро. Некоторые из них говорят, что речь может идти о десятках миллионов лет. Но в том, что в кратере когда-то было озеро, никаких сомнений нет. В него даже впадало несколько рек (Что Perseverance может рассказать... [Электронный ресурс], 2023).

Основными выходными данными дистанционного зондирования

данных территорий являются цифровые модели рельефа. Цифровая модель рельефа (ЦМР) давно стала одним из основных источников информации о местности. Развитие технологий дистанционного зондирования позволяют получать высокоточные цифровые модели рельефа, значительно упрощающие исследование и гипсометрический анализ рельефа местности (Хромых, В.В., 2007).

Для работы с кратером Вредефорт использовалась Цифровая модель высоты рельефа Copernicus GLO-30 (COP30) с пространственным разрешением 30 м (Рисунок 3.3), представляющая собой геопространственный продукт, разработанный и предоставляемый Европейским космическим агентством (ESA) и Европейским агентством по окружающей среде (EEA). Данная модель включает в себя всю территорию Европы, иные регионы мира, включая здания, инфраструктуру и растительность (Raster Job Results... [Электронный ресурс], 2023).

В качестве исходных данных для построения ЦМР территорий Марса по большей части используются мультиспектральные снимки или же стереопары – снимки рельефа, произведенные с минимальным друг от друга расхождением во времени, с максимально приближенными условиями освещения и минимальной областью перекрытия. Все это необходимо для того, чтобы увеличить точность построения цифровой модели рельефа. (Новаковский, Б.А., 2019) Для работы с территорией Марса возьмем мозаику цифровой модели рельефа, состоящую из стереопар снимков, созданных камерой высокого разрешения HiRISE - Jezero_E (Mars 2020 Terrain Relative Navigation... [Электронный ресурс], 2023).

Обработка и анализ моделей рельефа, а также создание морфометрических карт выполнены в программах ArcGIS и MapInfo. ArcGIS - семейство программных продуктов американской компании «Институт исследования систем окружающей среды» («Environmental Systems Research Institute (ESRI)»), одного из лидеров мирового рынка геоинформационных систем. ArcGIS построена на основе технологий COM, .NET, Java, XML,

SOAP (ArcGIS Pro... [Электронный ресурс], 2023).

Морфометрический анализ – один из методов геоморфологических исследований в котором количественные характеристики рельефа изучаются с помощью определенных измерений. Визуальный анализ необходимых карт помогает наглядно воспринимать геоморфологические аспекты и делать необходимые для исследования выводы. Основными морфометрическими показателями для измерений в проведенной работе были выделены: 1) абсолютные высоты; 2) вертикальное и горизонтальное расчленение; 3) уклоны поверхности.

Для наиболее наглядного сравнения и сопоставления характеристик территорий кратеров, на основе созданных карт была составлена таблица морфометрических показателей (Таблица 3.1). На основании анализа таблицы и карт строятся выводы данной работы.

Таблица 3.1 Основные морфометрические показатели [Составлено автором]

Основные морфометрические показатели	Участки					
	Земной (кратер Вредефорт)			Марсианский(кратер Езеро)		
	Минимум	Среднее	Максимум	Минимум	Среднее	Максимум
Абсолютные высоты	1121	1478	1690	-2665	-2419	-1639
Горизонтальное расчленение(км/км ²)	0	3,34	9,74	0	4,65	13,45
Вертикальное расчленение(м)	0	41,53	248,75	0	47,34	376,78
Углы наклона(град.)	0	3,27	53,12	0	4,13	58,14

На основе данных полученных в результате создания карт и составления таблицы морфометрических показателей с помощью визуального анализа и сравнения полученных показателей были выведены

основные черты, а также сходства и различия территорий кратеров Вредефорт и Езеро.

Для наиболее эффективного и наглядного сравнения характеристики будут изучены по картам попарно, первой характеристикой выступят углы наклона поверхности и абсолютные высоты. На картах отчетливо видно, что на обеих территориях в северо-восточной и восточной части расположены наибольшие отметки высот и сконцентрированы максимальные значения углов наклона, в первую очередь это связано с находящимся там насыпным валом. Особое внимание следует уделить гидрографическим объектам, визуальную оценивая Вредефорт можно отметить четко выявляющуюся ленту протекающей по насыпному валу реки. На марсианском кратере взор сразу останавливается на форме рельефа максимально напоминающем речную дельту. Также оценивая высоты стоит отметить что значения незначительно разнятся, с перепадами от 500 на Земле, и до 1020 м на Марсе, однако если учитывать разницу в диаметре кратеров, составляющую порядка 200-250 км, можно предположить, что на нашей планете геоморфологические процессы оказывают значительно большее влияние на формирование облика взятого кратера.

По созданным картам горизонтального расчленения можно отметить, что территории значительно отличаются, наиболее широкий южноафриканский кратер обладает довольно однородными показателями по данной характеристике, тогда как марсианский объект имеет сильную расчлененность в своей восточной и северо-восточной части, в пределах предполагаемой дельты. Объяснить это можно, предположив, что причина в различных масштабах образований, но не стоит забывать о степени влияния на кратеры различных геоморфологических процессов (Камни на дне кратера Езеро... [Электронный ресурс], 2023). Ветровая и, вероятно в прошлом, водная эрозия, являются главными агентами, изменяющими облик Езеро, в то время как Вредефорт подвержен влиянию как тектонических сил, так и всех возможных эрозионных процессов.

При анализе карт вертикального расчленения очень заметно сходство данных территорий в контексте этого показателя, на тех же восточных и северо-восточных окраинах кратеров зарегистрированы наибольшие показатели уровня расчлененности рельефа. Это лишь подтверждает четкую форму краев кратеров с окаймляющими их насыпными валами и объясняет наибольшие углы наклона поверхности. Также сильное влияние на вертикальное расчленение оказывает отложение осадков под из-за процессов ветровой и водной эрозии, а также вулканической активности, что должно быть наиболее свойственно для марсианской «обстановки». Для Вредефорта наибольшее значение в формировании такого баланса вертикального расчленения связано с геологическими процессами, такими как тектоника, эрозия и осадочное осаждение. Тектонические движения могут привести к образованию разломов, сдвигов и других вертикальных структур внутри кратера, а эрозионные процессы, включая водную эрозию и ветровую эрозию, могут создавать вертикальные откосы и углубления. Осадочное осаждение, такое как накопление отложений рек и водных систем, может также способствовать вертикальному расчленению кратера.

Обобщая сравнительную характеристику необходимо сказать, что процессы, определяющие динамику и изменение рельефа на выбранных территориях схожи настолько же, насколько различны. Кратер на Марсе содержит отложения, которые предположительно связаны с прошлой активностью воды, включая озера и реки. В кратере на Земле осадочные отложения имеют иной характер. Кратер Езеро может подвергаться ветровой эрозии и отложению, что связано с атмосферными условиями планеты. Кратер Вредефорт может быть подвержен тектоническим движениям и эрозии, характерными для земной геологии. Но не смотря на ряд особых различий по морфометрическим показателям и визуальной оценке можно смело предположить, что данные территории являются родственными.

Заключение

В ходе создания бакалаврской работы были исследованы основы планетологии, планетарной геоморфологии и морфометрии. Были описаны и изучены ключевые понятия морфометрического анализа, цифрового моделирования, а также проведен морфометрический анализ исследуемых территорий и проведена оценка основных морфометрических характеристик.

Подводя итоги выполненной работы, необходимо сказать, что проведенный анализ позволил выявить как сходство в количественной оценке выбранных объектов, так и различия в их генезисе и развитии. Исходя из полученных результатов оценки морфометрических показателей можно сделать выводы о том, что предположения предписываемые территории кратера Езеро на Марсе имеют свое право на существование уже на морфометрической основе.

Изучение объектов солнечной системы и космоса в целом было и остается одним из важнейших направлений в науке. Среди множества подходов для исследования в данной работе был выделен метод морфометрического анализа – один из важнейших методов геоморфологии, и полученные результаты говорят о его эффективности для дальнейших исследований.