

## ОЦЕНКА РЕЗУЛЬТАТОВ РАЗЛОЖЕНИЯ ПОВЕРХНОСТИ ЛУНЫ НА ФОНОВУЮ И АНОМАЛЬНУЮ СОСТАВЛЯЮЩИЕ

*УО «Гомельский государственный университет им. Ф. Скорины»,  
г. Гомель, Республика Беларусь,  
bel\_echelon9999@mail.ru*

Часто говорят, что Луна – это своеобразный «геологический заповедник» и, изучая сегодняшний день Луны, можно узнать и прошлое нашей планеты. Что может дать науке сравнение геологической истории разных планет?

Это верно в том отношении, что на Луне сохраняется в почти первозданном виде тот рельеф, который создают вулканические и горообразовательные процессы. Дело в том, что на Луне нет воды, нет морей, постепенно размывающих и выравнивающих гористые берега. Нет речной и ветровой эрозии. Поэтому, конечно, для геолога исследования лунного рельефа дают очень много ценной информации. Вполне возможно, что, исследовав Луну, мы лучше поймём, как шли в прошлом и на Земле некоторые геологические процессы. Сейчас уже видно, что изучение Луны расширит наши знания о вулканических процессах. Теперь большинство специалистов считает, что с ударением метеоритов на Луне связаны, главным образом, мелкие кратеры, а крупные имеют вулканическое происхождение.

Если бы на Земле не было разрушающего действия воды и атмосферы, наверное, её лик был бы испещрён вулканическими кратерами не меньше, чем Луна.

Интересно было бы смоделировать рельеф Земли и определить его вертикальное расчленение при отсутствии Мирового океана. Тогда нагрузка на дно моря была бы меньше, и по законам равновесия, произошло бы поднятие дна океанических впадин. Это происходило бы подобно тому, как сейчас, например, идёт подъем Скандинавского полуострова в связи с тем, что там стоял ледник. В течение 10 тысяч лет, этот участок суши поднимается со скоростью около одного сантиметра в год, поднимается благодаря подтоку под него глубинных масс. То же самое происходило бы с дном нынешних морей и океанов.

Сейчас у нас самые глубокие впадины достигают в океанах 11 километров, а самые высокие горы – 8 километров. Получается размах рельефа – 19 километров. Так вот оказывается, что если бы воды у нас не было бы и она не «продавливала» бы своим

весом дно океанов, то размах был бы только 14 километров. Эта величина удивительно близка к амплитуде рельефа Луны. Там размах рельефа 11 – 12 километров, а на безводном Марсе – 13,5 километров.

Это стало известно по данным радиолокации, проведённой с Земли летом 1969 года. Были проведены очень точные радарные измерения, которые позволили определить размах рельефа Марса. Кроме того, судя по снимкам, он испещрён такими же кольцевыми горами, как и Луна. Причём там есть кратеры ещё больше, чем на Луне. На Луне они достигают 250 километров в поперечнике, на Марсе – 450 километров. Там имеются круглые кольцевые горы, и даже количество их на единицу площади получается довольно близким к тому, что есть на Луне. Так что сравнение вулканических образований на разных планетах представляет колоссальный интерес.

Не меньшее значение имеет сравнение состава коры разных планет. Это даёт возможность выяснить, как шёл процесс дифференциации вещества планет, их расслоения, выяснить закономерности, которые привели к образованию различных облика планет, при наличии общих черт [1].

С геологической точки зрения интерес представляет рельеф и внутреннее строение планет Солнечной системы, так как они не подвержены рельефообразующим процессам, аналогично процессам, происходящим на Земле её антропогенному преобразованию, но в то же время имеют некоторые основополагающие сходства. Внутреннее строение планет находится в тесной связи с гравитационным полем, поэтому его характеристика так необходима при рассмотрении на первый взгляд чисто геологических вопросов.

За форму Земли принимают эквипотенциальную поверхность, совпадающую с невозмущённой поверхностью морей и океанов, за форму Луны по аналогии рассматривается урвенная поверхность, называемая селеноидом. Отсутствие на Луне водной поверхности не усложняет решение проблемы определения селеноида. Поскольку селеноид – условная поверхность, за таковую можно принять одну из урвенных поверхностей, достаточно близкую к средней физической поверхности Луны.

Площадь Земли равна  $5,10 \times 10^8 \text{ км}^2$ . Твёрдая оболочка Земли обладает расчленённым рельефом, определяющим положение суши и Мирового океана. Наиболее высокая точка на Земле – гора Эверест (Джомолунгма) в Гималаях – достигает высоты 8848 м. Наибольшая глубина 11022 м обнаружена в Марианской впадине Тихого океана (у Марианских островов). Возвышенности на материках располагаются в виде двух поясов: один приурочено к Тихоокеанскому побережью и включает горы Восточно-Азиатских островов, Кордильеры, Анды, Антарктические Анды. Самая высокая гора этого пояса – Аконкагуа – достигает высоты 6960 м. Второй пояс включает Пиренеи, Атлас, Альпы, Апеннины, Балканы, Кавказ, Памир, Гималаи, горные цепи Индокитая и Малайского архипелага. Наивысшая вершина этого пояса – гора Эверест 8848 м. Часто отмечают одну интересную, но пока не объяснённую особенность земной поверхности – наличие «континентальных лучей» – попарной группировки материков (Северная Америка с Южной Америкой, Азия с Австралией, Европа с Африкой). В каждом «луче» северные материки отделены от южных мощных поясов разломами земной коры, совпадающими со средиземными морями, в пределах которых расположены архипелаги вулканического происхождения. К этим разломам приурочены напряжённые хоны сейсмической деятельности (землетрясений) и проявлений вулканизма. Для материков характерна форма, сходная по конфигурации с треугольником, основание которого обращено к северу.

В формировании рельефа Луны, по-видимому, принимали участие и внутренние, и внешние силы. Роль тектонических и вулканических явлений несомненна, так как на Луне есть линии сброса, цепочки кратеров, огромная столовая гора со склонами такими же, как и у кратеров. Имеется сходство лунных кратеров с лавовыми озерами

Гавайских островов. Менее крупные кратеры образовались от ударов больших метеоритов. На Земле есть также ряд кратеров, образованных при падении метеоритов. Что касается лунных «морей», то они, по-видимому, образованы проплавлениями лунной коры и излияниями лавы вулканов. Конечно, на Луне, как и на Земле, основные этапы горообразования происходили в далёком прошлом [2].

Рельеф Луны имеет сложное строение. Наблюдаются обширные горные области и равнины. Рельеф на картах изображается в виде изолиний равных высот сглаженной физической поверхности планеты относительно поверхности относимости. За поверхность относимости проще всего принять сферу. Радиус этой сферы принимается равным среднему радиусу Луны. Для численно-аналитических исследований удобно представлять рельеф в виде разложения по сферическим или выборочным функциям [7].

Со времён Галилея составлялись карты видимого полушария Луны. Темные пятна на поверхности Луны были названы «морями». Это низменности, в которых нет ни капли воды. Дно их тёмное и сравнительно ровное. Большую часть поверхности Луны занимают гористые, более светлые пространства. Есть несколько горных хребтов, названных, подобно земным, Альпами, Кавказом и т. д. Высота гор достигает 9 км. Но основной формой рельефа являются кратеры. Их кольцевые валы высотой до нескольких километров окружают большие круглые впадины диаметром до 200 км, например, Клавий и Шиккард. Всем крупным кратерам даны названия в честь учёных. Так, на Луне есть кратеры Тихо, Коперник и др.

Лунный рельеф лучше изучать тогда, когда соответствующая местность лежит вблизи терминатора, т. е. границы дня и ночи на Луне. Тогда освещённые Солнцем сбоку малейшие неровности отбрасывают длинные тени и легко заметны. Очень интересно в течение часа проследить в телескоп за тем, как вблизи терминатора на ночной стороне загораются светлые точки – это вершины валов лунных кратеров. Постепенно из тьмы выплывает светлая подкова – часть кратерного вала, но дно кратера ещё погружено в полный мрак. Лучи Солнца, скользя все ниже, постепенно обрисовывают и весь кратер. При этом хорошо видно, что, чем меньше кратеры, тем их больше. Они часто расположены цепочками и даже «сидят» друг на друге. Позднейшие кратеры образовались на валах более старых. В центре кратера часто видна горка, в действительности это группа гор. Кратерные стены обрываются террасами круто внутрь. Дно кратеров лежит ниже окружающей местности. С Земли кратер Коперник виден прямо сверху и без подробностей. Вообще с Земли в наилучших условиях едва видны кратеры до 1 км в диаметре. Вся поверхность Луны изрыта мелкими кратерами – пологими углублениями – это результат ударов мелких метеоритов [5].

Гравитационное поле Луны имеет сложное распределение в пространстве. Оно отражает неправильности внутреннего строения Луны и её внешней фигуры. Если смотреть на гравитационное поле Луны в общем, то нельзя не обратить внимание на его центральную симметрию относительно центра масс Луны. Симметрия выполняется с высокой точностью. Изменения потенциала силы тяжести на лунной поверхности не превосходят 0,02 % от его среднего значения  $W = 282 - 1019 \text{ см}^2/\text{с}^2$ , а вариации ускорения силы тяжести – 0,3 % от среднего значения ускорения силы тяжести, равного  $162 \text{ см}/\text{с}^2$ . Чтобы нагляднее продемонстрировать идеальность гравитационного поля Луны, обратимся к простой аналогии. Возьмём сферу радиуса 1000 мм. Вариации потенциала силы тяжести на Луне будем представлять в виде изменения высот точек относительно сферы. Так, оказывается, максимальному изменению аномалий потенциала силы тяжести на Луне соответствует изменение высот на взятой сфере, не превосходящее 0,2 мм. Это ли не совершенное создание природы при условии тех невообразимо бурных процессов, которые происходили во время образования

Солнечной системы и, в частности, Луны. Такая идеальность гравитационного поля Луны могла возникнуть в процессе её длительной эволюции [8].

Неоднородность (аномальность) гравитационного поля на сферической поверхности Луны наложена на постоянный фон гравитационного поля достаточно высокого уровня. При этом, неоднородность имеет различную протяжённость. Используя наблюдения Луны, её аппроксимируют трёхосным эллипсоидом. Полуоси эллипсоидальной Луны различаются на величину не более одного километра. Это различие создают наиболее протяжённые неправильности в её гравитационном поле. Образования типа «морских» и «континентальных» областей не могут не найти отражения в гравитационном поле и образуют в нем неправильности следующих порядков. Далее идут масконы и другие подобного размера тектонические образования. При всей неправильности изменения аномальной части гравитационного поля для неё могут быть установлены некоторые статистические характеристики и закономерности их поведения [6].

Взаимное положение Земли, Луны и Солнца непрерывно меняется, что вызывает изменение величины и направления притяжения Земли Луной и Солнцем, возникают приливные (лунно-солнечные) изменения поля силы тяжести. Расстояния до Луны и Солнца, их масса и положение относительно Земли известны и потому приливные эффекты можно точно рассчитать для любого момента времени. Однако данные наблюдений не согласуются с расчётными из-за сложного строения Земли. Поэтому изучение земных приливов позволяет исследовать физические свойства её глубинных слоёв.

Орбитальное движение Земли и Луны сложное, Земля не идеально упругая, приливная сила вызывает перемещение больших масс воды на океанах, эти массы деформируют литосферу (нагрузочный прилив), поэтому земные приливы описывают гораздо большим числом волн. Параметры этих волн находят из длительных (многие месяцы) записей показаний стационарных землеприливных гравиметров (гравиметрический прилив) и наклономеров (наклономерный прилив) на станциях, размещённых в разных районах Земли. Эти записи подвергают гармоническому анализу, чтобы определить амплитуду и фазу волн с разным периодом. Такой анализ выполняют по согласованной международной программе, стараясь определить аномалии в амплитудах и фазах волн, которые позволяют уточнить строение глубинных недр Земли [3].

Разность ( $g-y$ ) величин реальной и нормальной силы тяжести называется аномалией силы тяжести. Обычно аномалия силы тяжести составляет несколько десятков миллигал, её средняя квадратическая величина 42,4 мГал. При надёжном выборе нормального поля средняя аномалия на Земле равна нулю. Протяжённые (тысячи километров) аномалии вызваны глубинными неоднородностями Земли. Например, слой мантии толщиной 10 км, плотность которого отличается от плотности окружающего вещества на  $0,05 \text{ г/см}^3$ , вызовет согласно аномалию, равную 21 мГал.

Большие региональные и локальные аномалии приурочены к областям со сложным строением литосферы, преимущественно к границам литосферных плит, для которых характерны глубоководные (до 10 – 11 км) жёлобы, возникающие при упругом изгибе плиты из-за горизонтального сжатия литосферы (Марианский, Идзу-Бонинский, Чилийский жёлобы, жёлоб Тонга на границе Индо-Австралийской и Тихоокеанской плит). Аномалии силы тяжести над желобами достигают – 330 мГал. Изменение аномалии в системе островная дуга-жёлоб Тонга составляет 410 мГал на расстоянии 100 км.

Аномалии гравиметрических приливов зависят преимущественно от механических свойств нижней мантии, поэтому распределение этих аномалий на поверхности Земли

даёт возможность исследовать горизонтальные неоднородности нижней мантии и изучать крупномасштабную блоковую структуру Земли. Приливные наклоны и деформации содержат информацию о свойствах коры и верхних слоёв мантии [4].

Внутреннее строение планет находится в тесной связи с гравитационным полем, поэтому его характеристика так необходима при рассмотрении на первый взгляд чисто геологических вопросов, а геоморфологические особенности рельефа планет объясняются условиями его формирования.

### Список литературы

1 Газета «Глазами геолога». Беседа с членом – корреспондентом Академии Наук СССР П. Кропоткиным.

2 Галкин, И.Н. Строение Луны / И.Н. Галкин, В.В. Шварев. – М.: Знание, 1977. – 64 с.

3 Жарков, В.Н. Внутреннее строение Земли и планет / В.Н. Жарков. – М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1983. – 416 с.

4 Михайлов, А.А. Обратная сторона Луны / А.А. Михайлов // Новое о Луне / А.А. Михайлов. – Л.: Изд-во АН СССР, 1963. – С. 5 - 8.

5 Мохов, А.В. Луна под микроскопом / А.В. Мохов, П.М. Карташов, О.А. Богатиков. – М.: Наука, 2007. – 127 с.

6 О согласовании моделей внутреннего строения Луны с данными гравитационного поля / С.Н. Раевский и др. // Физика Земли. – 2015. – Т. 1. – С. 139–147.

7 Раевский, С.Н. Применение геофизических методов для исследования недр Луны и Марса: автореф. дис. ...канд. физ.-мат. наук: 25.00.10 / С.Н. Раевский; Институт физики Земли им. О. Ю. Шмидта Росс.акад. наук. – М., 2014. – 27 с.

8 Рингвуд, А. Е. Происхождение Земли и Луны / А.Е. Рингвуд. – М.: Недра, 1982. – 293 с.