

**Национальный центр аэрокосмического образования
молодежи им.А.М.Макарова**

КАК УСТРОЕН МИР
Методические разработки

Тема: «Меркурий»

Подготовил:
доктор технических наук,
профессор ДГМА
А.М.Яншин

г. Днепропетровск
2014г.

Меркурий - самая близкая к Солнцу планета (58 млн. км), обращается с максимальной для всех планет скоростью (47,9 км/сек). Полный облет, вокруг Солнца, Меркурий совершает почти за три земных месяца (88 суток), делая за это время только полтора оборота вокруг оси (один оборот вокруг оси он совершает за 59 земных суток). Одно время даже полагали, что у него периоды обращения вокруг Солнца и вращения вокруг оси одинаковы, т.е. он так же, как Луна по отношению к Земле, всегда обращен к светилу одной и той же стороной.

Масса Меркурия невелика - она составляет лишь 0,055 массы Земли, но в 4,5 раза больше, чем у Луны. Плотность вещества у Меркурия и Земли почти одна и та же: у него она в 5,4, а у нашей планеты - в 5,5. В соответствии с массой и плотностью, а, следовательно, и с размером находится и сила притяжения на поверхности планеты. У Меркурия она в 3 раза меньше, чем у Земли, но в 2 раза больше, чем у Луны. Однако значительное увеличение силы тяжести у Меркурия по сравнению с Луной оказалось все же недостаточным для удержания выделяющихся из недр при расплавлении вещества газов и воды. Поэтому Меркурий, как и Луна, не имеет ни атмосферы, ни гидросферы.

Когда мы говорим об отсутствии у Меркурия атмосферы, мы не принимаем во внимание наличия у него крайне разреженной водородно-гелиевой оболочки, представляющей собой поток солнечной плазмы. Эта плазма (ионизированный газ) заполняет все межпланетное пространство, и некоторое сгущение ее вокруг Меркурия объясняется, видимо, проявлением силы притяжения планеты. Кроме того, последняя является как бы барьером по отношению к потоку ионизированных газов солнечного ветра. Насколько такая атмосфера из легких газов ничтожна, показывает ее фантастически малая плотность - атмосферное давление у поверхности Меркурия составляет всего 1/500 млрд. часть давления земной атмосферы. На рельефообразующие процессы, как и на природные условия планеты, в целом, определяемые главным образом климатом, такая разреженная атмосфера никак не влияет. Исследователи планетных атмосфер Р. Гуди и Дж. Уолкер (1975) считают, что на Меркурии нет даже признаков атмосферы в обычном понимании этого слова.

Отсутствие у Меркурия атмосферы имеет ряд следствий. Солнечная радиация - весь ее мощный поток, обусловленный близостью к Солнцу, - достигает поверхности планеты без всяких потерь, исключая 7% на отражение в космос. Солнечная постоянная у Меркурия в 6,5 раза больше, чем у Луны, поэтому и нагрев его поверхности несравненно сильной зоне в среднем может достигать 450-480° С, а ночью снижаться до минус 170 - 180° С. Охлаждение после дневного нагрева происходит очень быстро: уже через два часа после захода Солнца температура сильно нагретых мест понижается до -140° С, т.е. на сотни градусов. Из-за плохой теплопроводности грунта амплитуда колебаний температуры вглубь недр быстро затухает. Как показывают расчеты, на глубине нескольких десятков сантиметров должен находиться горизонт постоянной температуры, равной приблизительно плюс 70-90° С. Средняя температура поверхности определена в 230° С (Ксанфомалити, 1978), что на 250° выше лунной.

ИССЛЕДОВАНИЯ МЕРКУРИЯ.

Наблюдать Меркурий с Земли очень затруднительно, поскольку он близко расположен к Солнцу и не удаляется от него дальше 28°. При высоком стоянии Солнца над горизонтом он едва различим на небе. Наилучшее время для наблюдения за ним - это утро, до восхода Солнца, или вечер, после захода. Но и в такие благоприятные для наблюдения интервалы времени имеются осложняющие обстоятельства: во-первых, и утром и вечером для земного наблюдателя освещенной бывает только одна и та же половина диска планеты; во-вторых, наблюдение приходится вести под небольшим углом трубы телескопа к горизонту, когда отраженные от Меркурия лучи света проходят через плотные загрязненные слои земной атмосферы, из-за чего изображение теряет четкость.

Докосмическое время. Несмотря на большие трудности наблюдения. Меркурий был знаком людям с древнейших времен. Уже с середины IV в. до н.э. известные в то время планеты получили греческие «божественные» имена, которыми мы пользуемся и в настоящее время. В свою очередь греки заимствовали смысловое значение названий планет у вавилонян. На языке последних Меркурий назывался Гермес, что означало «городской бог», «бог письменности и торговли» (Веселовский, 1973). В Ассирии в VI в. до н.э. и раньше планеты (кроме Венеры, которая называлась Иттара - по имени богини плодородия и любви) не носили божественных имен.

Несмотря на телескопическое изучение Меркурия в течение ряда столетий, не удавалось не только различить детали его поверхности, но даже и выяснить период его вращения. Лишь в 1965г. при помощи радиотелескопа, работающего на дециметровую волну, удалось уточнить период его вращения. Он оказался равным 59 земным суткам, а не 88, как полагали раньше.

Космическая эра. Американский космический аппарат «Маринер-10» был запущен с Земли как искусственная планета Солнечной системы, орбита которой была рассчитана так, чтобы при сближении с

Венерой (под действием ее тяготения) он отклонился в район Меркурия, прошел вблизи его и через каждые 176 суток (два меркурианских года) снова возвращался к нему. Он трижды пролетал вблизи Меркурия, снял его поверхность и провел поляризационные, спектрометрические и магнитометрические исследования (Мюррэй и др., 1975; Мюррэй, 1978).

При первом полете к Меркурию «Маринер-10» начал его фотографирование 23 марта 1974г. с расстояния 5,4 млн. км. Периодическая съемка продолжалась до 3 апреля, когда космический аппарат уже удалился от Меркурия на 3,5 млн. км. На самом близком расстоянии (в 720 км) «Маринер-10» оказался 29 марта. Двумя телевизионными камерами высокого разрешения съемки, на Землю было передано 2 тыс. кадров. Съемке подверглось 13% площади поверхности планеты. Спустя 176 суток, 21 сентября 1974г., произошла вторая встреча «Маринера-10» с Меркурием. Новая серия снимков поступила в центр управления (Второй пролет «Маринер-10»..., 1975). Съемкой была охвачена преимущественно полярная область южной полусферы, общая площадь которой составила 37% от площади всей поверхности планеты.

Наконец, в третий, последний раз «Маринер-10» сблизился с Меркурием 16 марта 1975г. на расстояние 320 км. Это позволило осуществить детальное фотографирование его поверхности (разрешающая способность съемки составляла 50 м). Вскоре поле этого вследствие истощения запаса газа, используемого для стабилизации положения аппаратов в пространстве, передача информации с «Маринера-10» прекратилась (Мюррэй, 1978).

Результаты исследований. Полет «Маринера-10» позволил получить важные и интересные данные о планете. Выяснилось необычное сходство рельефа Меркурия и Луны. Поверхность планеты оказалась сплошь усеянной кратерами разного размера, в том числе и гигантами, с поперечником 100 км и больше.

У Меркурия обнаружено слабое биполярное магнитное поле. Его напряженность неравномерна: на экваторе 35-10, у полюсов 7-10 Э. Магнитная ось наклонена к оси вращения под углом 7°. По сравнению с напряжением магнитного поля Земли меркурианское в 150-300 раз слабее. Магнитное поле планеты в известной степени препятствует проникновению к ее поверхности солнечного ветра, несущего свое магнитное поле.

ЭВОЛЮЦИЯ ПЛАНЕТЫ.

Меркурий не обеспечен такими важными данными прямых исследований, как Луна. Сейсмическое изучение его недр не проводилось, образцы горных пород не доставлялись на Землю и следовательно, не подвергались минералогическому анализу и определению абсолютного возраста. И тем не менее анализ телевизионных снимков, результатов геофизических исследований, широкое использование сравнительных данных других планет, прежде всего Луны и Земли, позволили составить достаточно объективное представление об истории и строении планеты.

Факторы эволюции. Как уже известно, Меркурий подобно Луне лишен атмосферы и гидросферы, а потому активность экзогенных процессов у него предельно ослаблена и проявляется лишь в нескольких видах, как и на Луне. Из-за отсутствия этих активных энергопоглощающих сред планета в очень слабой степени использует солнечную радиацию. Получая в 6 раз больше солнечной энергии, чем Луна, Меркурий ее почти не использует и в длинноволновом диапазоне переизлучает обратно в космос. Можно предположить, что при колоссальной амплитуде колебаний температуры поверхности планеты и верхнего слоя грунта основные экзогенные процессы на Меркурии - термическое выветривание, десерпция и гравитационные - протекают несколько интенсивнее, чем на Луне. Однако на Меркурии так же, как и на Луне, при необычном обилии солнечной энергии чрезвычайно консервативны крупные формы рельефа. И здесь они существуют миллиарды лет. Тектонический фактор хотя и проявлял временами значительную активность в формировании внешней области планеты, и особенно в рельефообразовании, но по своему значению он все же уступал метеоритной бомбардировке.

Метеоритная бомбардировка. Телевизионный снимок поверхности Меркурия дает яркое представление о сплошном распространении на ней метеоритных кратеров. Наблюдаемые межкратерные равниноподобные участки поверхности есть результат мелкомасштабного фотографирования. Если бы оно было проведено более детально, то эти кажущиеся плоскими участки поверхности оказались бы сплошь усеянными ударными кратерами меньших размеров.

Эта фотография отражает густо покрытую кратерами поверхность материковых областей, похожую на лунные материки. Снимок получен космической станцией «Маринер-10». Кратер в центре снимка имеет диаметр приблизительно 15-17км. Поперечники едва различимых кратеров определяются всего несколькими сотнями метров. На рисунке отчетливо проступают очертания и уплощенных днищ крупных сильно разрушенных кратеров. Результаты действия метеоритной бомбардировки проявляются не только в создании специфического ячеистого рельефа поверхности, но также и в разрушении его

форм. Чем старше ударный кратер, тем в большей степени (при равных размерах) он разрушен. Его круглый гребень из острого превращается в сглаженный, он может даже потерять свою морфологическую выраженность.

Кроме преобразования рельефа планеты, метеоритная бомбардировка проявляет себя и как тектонический фактор. Подобно тому как это происходит на Луне, поток падающих на поверхность планеты космических тел создает в меркурианской коре радиально-кольцевые структуры, формирует зону дробления горных пород, свиту ударных брекчий и, наконец, поверхностный слой микробрекчий - реголит. Поверхностное частичное расплавление горных пород также вызвано выпадением крупных метеоритов. И конечно, метеоритная бомбардировка, главным образом крупными телами типа планетезималей, на зарепланетной истории была причиной расплавления вещества недр Меркурия и образования у него огромного железного ядра и силикатной мантии.

Тектонический фактор. Он обеспечивает в основном механические перемещения планетного вещества на основе эндогенной энергии. Предположительно тектоническому фактору следует приписать образование «морских» впадин, в том числе и овальной формы, позже залитых базальтовой лавой. Среди них находится гигантское Море Калорис диаметром свыше 1300 км.

На поверхности Меркурия помимо ударных кратеров распространены огромные уступы (эскарпы) высотой до 6-3 км и протяженностью в сотни и даже первые тысячи километров. Он прослеживается несколько ниже линии горизонта. Предполагается, что образование эскарпов связано с сжатием планеты после фазы расплавления внешней сферы, которое обусловлено уменьшением объема вещества после перехода его из жидкой фазы в твердую. Наличие крупных эскарпов - одна из характерных особенностей строения поверхности Меркурия. На Луне такие образования тоже встречаются (Прямая Стена и др.), но их меньше и они имеют более скромные размеры, чем на Меркурии.

Экзогенный фактор. Физические условия для возбуждения экзогенных рельефообразующих процессов на Меркурии такие же, как на Луне. Отсутствуют атмосфера и гидросфера, т.е. там условия открытого космоса. Абсолютно сухая поверхность планеты и верхнего слоя грунта не обеспечивает значительного использования солнечной энергии, и она обратно отдается в космос в том же электромагнитном излучении, но в диапазонах большей длины волн, чем когда она приходит от Солнца. Поэтому экзогенные процессы на Меркурии протекают, как и на Луне, крайне медленно, почти без заметного морфологического эффекта.

Стадии эволюции. Анализ телевизионных снимков поверхности Меркурия, полученных «Маринером-10», а также данных других видов дистанционного исследования отражательных, поляризационных (по определению свойств горных пород и др.) позволил наметить основные события в жизни планеты. Ее история оказалась весьма схожей с историей Луны. (Б.Мюррей, 1978) в истории Меркурия выделяет пять основных стадий, существенно отличающихся по особенностям происшедших событий.

Первая стадия, вероятно в самом конце фазы аккреции недр планеты - от поверхности до ее центра - были расплавлены. Произошла дифференциация всей массы вещества: образовались огромное железное ядро и относительно тонкая силикатная мантия.

Вторая стадия соответствует времени охлаждения и затвердения поверхности и вещества мантии. Масса падающих крупных тел сформировала ранний крупнократерный рельеф планеты. К этой же стадии относится и образование широко распространенных на Меркурии уступов (эскарпов). Иногда в парном сочетании они образуют нечто напоминающее земные рифты.

Для **третьей стадии** наиболее характерна интенсивная метеоритная бомбардировка, в том числе крупными космическими телами типа планет - зималей. Стадия завершается появлением огромной впадины Калорис, очень пожей на лунный бассейн Моря Дождей и другие депрессии.

Четвертая стадия отличается от предыдущей образованием многочисленных равнин типа лунных «морей», что связано с заполнением областей опускания поднимавшейся из недр базальтовой лавой.

Пятая стадия характеризуется спокойным течением событий: она представляет собой как бы аналог послеморского периода, как и у Луны. На поверхность воздействует ослабленный по сравнению с предшествующим временем метеоритный поток, образуются многочисленные, главным образом мелкие и средние по размеру, ударные кратеры.

РЕЛЬЕФ.

К морфологическим элементам первого порядка на Меркурии, как и на Луне, надо отнести материковые области, обладающие гористым рельефом, и «морские» бассейны - пониженные пространства с относительно плоским рельефом. Наиболее крупным «морским» бассейном является Море Калорис (Море Жары), имеющее поперечник 1300 км. Другие меркурианские «морья» имеют

меньшую площадь (сказанное относится только к заснятой части поверхности планеты). Поскольку они возникли значительно позже, чем сама планета, то в их пределах густота кратеров немного меньшая, чем на материковых территориях, образовавшихся непосредственно после фазы глобального расплавления вещества.

Ударные кратеры на Меркурии более уплощены, чем лунные, имеют меньшую глубину и высоту обрамляющих их кольцевых валов. Причиной их меньшей выразительности считается сила тяжести планеты, которая в 2 раза превосходит лунную. Как правило, меркурианские кратеры диаметром более 14 км имеют центральные горки, а внутренние склоны кольцевых валов обычно террасированы (второй пролет «Маринера-10», 1975). Высота кратерных валов не превышает 2-4 км, в то время как на Луне (например, у Скалистых гор) она составляет 5 км.

Во многих местах поверхность планеты -прорезана полосами светлого материала - лучами, исходящими от некоторых ударных кратеров. По аналогии с лунными, эти светлые полосы рассматриваются как выбросы свежего, космически невыветренного материала из образовавшегося при ударе метеорита кратера.

К элементам рельефа второго порядка отнесены эскарпы - отчетливо выраженные в рельефе крупные разломы, уступы со смещенными крыльями. Они прослеживаются по поверхности планеты на многие сотни, реже - тысячи километров, имеют высоту до 2 км. Эскарпы характеризуются прямолинейностью и могут пересекать как межкратерные пространства, так и кратеры.

На поверхности Меркурия, как и на поверхности Луны, распространен мелкораздробленный материал приблизительно того же состава, что и реголит. Об этом свидетельствуют их одинаковые фотометрические поляризационные свойства. Поскольку механизм физического воздействия метеоритной бомбардировки на литосферу на Луне и Меркурии один и тот же, можно уверенно говорить о наличии у планеты зоны дробления верхней части коры и покровных макрорежечий типа лунной формации Фра Мауро.

Рельефообразующие процессы. На Меркурии, как и на Луне, все рельефообразование обусловлено главным образом метеоритной бомбардировкой. Собственно же экзогенный рельефообразующий фактор вследствие неблагоприятной среды - отсутствия атмосферы и воды - никогда не играл значительной роли. Эндогенное рельефообразование на определенных стадиях планетной истории было более эффективным, чем экзогенное. Лишь в послеморской период он стал малоактивным.

ПРИРОДНЫЕ УСЛОВИЯ

Всего лишь 15 лет назад один из известных советских планетологов - Л.В. Ксанфомалити (1976) писал, что Меркурий представлялся ученым в таком виде: «Черное небо. Раскаленная горячими лучами близкого Солнца безжизненная поверхность. Причудливые скалы погружены в озера расплавленного металла. Слепительный солнечный свет и глубокие черные тени».

Еще задолго до космического века у астрономов сложилось мнение, что на Меркурии находятся бассейны с расплавленным металлом. А основывалось оно на том факте, что Меркурий очень близко находится к Солнцу, изливающему не него мощнейший поток энергии, а также что планета будто бы всегда обращена к Солнцу одной и той же стороной. Эти два условия и должны были обеспечить чрезвычайно сильный разогрев приповерхностных пород Меркурия, при котором легкоплавкие металлы начинают плавиться.

В 1965г. радиолокационным методом было установлено, что период вращения планеты (59 суток) составляет только $2/3$ года, а потому ни полного расплавления поверхностных горных пород, ни даже только легкоплавких металлов происходить не могло. На меркурианской поверхности нигде не может быть участка, который бы длительное время сохранял очень высокую температуру. В любой точке планеты, где нагрев при вертикальном падении лучей Солнца может достигать $+420^{\circ}\text{C}$, такая температура может сохраняться только в течение очень короткого отрезка времени, а потом она быстро начинает падать.

Внешнее сходство устройства и соответствующей ей тектонической структуры Меркурия и Луны следует рассматривать не как случайное совпадение, а как отражение их однотипного хода планетарной эволюции. Л.В. Ксанфомалити символически назвал одну из своих работ «Меркурий - брат Луны»(1976). И это не только интригующая фраза, а глубоко осмысленное выражение, подчеркивающее сходство строения поверхностей сравниваемых планет, единство их общего происхождения, пути эволюции и современного состояния. Сходство это выражается и в том, что по своим массам обе планеты относятся к разряду малых планет, не способных удержать у себя подвижные среды - газовую и водную, что является определяющим фактором развития их внешних сфер.

Под природными условиями на планетах мы подразумеваем прежде всего климатическую обстановку и степень пригодности ее для зарождения и развития жизни. Нас интересуют: состав газов атмосферы и параметры каждого ее компонента, наличие или отсутствие в ней водяного пара, тепловой режим и динамика, плотность, а также физические свойства, в том числе оптически.

Вместо атмосферы на поверхности Меркурия господствуют условия вакуума космического пространства, в результате чего на планету беспрепятственно поступает весь поток солнечной радиации, включая и самое жесткое излучение - гамма-лучи, рентгеновское и ультрафиолетовое излучения. Даже только по этой причине жизнь на Меркурии невозможна.

Одним из следствий этого нужно считать специфическое неравномерное тепловое поле поверхности планеты и его режим. Нагрев поверхности Меркурия в условиях сравнительно однородных теплофизических свойств поверхностного грунта (реголита) зависит исключительно от мощности поступающей на единицу площади солнечной радиации. А она в свою очередь зависит от угла падения солнечных лучей на поверхность. Другими словами, на Меркурии, как и на Луне, мы сталкиваемся с примером типичного «соляного климата», под которым понимаются неравномерное по напряженности тепловое поле и его режим. Амплитуда колебания температур теплового поля планеты определяется в 600°C (от $+420^{\circ}\text{C}$ в точке нахождения Солнца в зените до -180°C в диаметрально противоположном ей пункте).

Указанная контрастность температурного поля поверхности Меркурия быстро сглаживается по мере углубления в грунт (реголит). Из-за чрезвычайно плохой теплопроводности реголита считают, что уже на глубине нескольких десятков сантиметров от поверхности должен находиться горизонт постоянной температуры в $70-90^{\circ}\text{C}$ выше нуля.

Как отмечалось, планета вращается вокруг оси очень медленно: один оборот она совершает за 59 земных суток, или за $6/3$ меркурианского года (88 суток). Результатом такого соотношения длительности указанных периодов является необычное для нас, землян, положение: меркурианские сутки продолжаются два меркурианских года, т. е. 176 земных суток, а день, как и ночь, продолжается по году.

Еще одно необычное для нас явление: с поверхности Меркурия из-за очень сильно вытянутой его орбиты (эксцентриситет 0,206) кажется, что Солнце «неправильно» движется по небосводу. В своем движении оно может ускорять или замедлять свой бег, остановиться или даже возвратиться несколько назад. В фазу перигелия с планеты можно видеть, что в течение 8 (земных) суток Солнце возвращается назад, после чего оно снова меняет курс на «нормальный». Причина такого на первый взгляд странного поведения Солнца заключается в том, что в секторе перигелия орбитальная угловая скорость планеты временно превышает угловую скорость ее вращения (Мюррэй, 1978). В некоторых зонах планеты восход и заход Солнца можно наблюдать дважды в меркурианские сутки, и, кроме того, восход и заход могут быть как на востоке, так и на западе. Все это «светопредставление» происходит 2 раза в меркурианском году и длится каждый раз регулярно в течение двух недель «утром» и «вечером» - примечательно к нашему, земному понятию (Ксанфомалити, 1976). Отмеченные особенности движения Солнца на небосводе - большая продолжительность суток и дня и неравномерность его движения - безусловно сказываются на режиме теплового поля поверхности Меркурия и являются одной из специфических черт физических условий планеты.

ВЫВОДЫ

1. По устройству поверхности, в том числе и по наличию радиально-кольцевых структур ударного происхождения коры, Меркурий представляет собой аналог Луны. Единственным его отличием признаются крупные уступы (эскарпы) высотой до 2 км и протяженностью в сотни и даже тысячи километров.

2. Поверхность Меркурия в экваториальной зоне - это раскаленная днем (до температуры в сотни градусов) каменистая пустыня без капли воды, ночью охлаждающаяся почти до минус 200°C . Поверхность планеты не окутана воздушной оболочкой, а соприкасается непосредственно с вакуумом межпланетного пространства.

3. Меркурий в еще большей степени неблагоприятен для жизни, чем Луна. Причины - мощный, убийственный для организмов поток жесткого излучения солнечной радиации, отсутствие воды и воздуха. Радиация беспрепятственно достигает поверхности планеты и крайне неравномерно по площади и во времени осуществляет ее нагрев.

4. Мощнейший энергетический поток солнечной радиации, в 6,5 раза более сильный, чем на Луне, практически не возбуждает экзогенных процессов, приходящая энергия имеет «транзитный характер»: солнечная энергия не используется Меркурием из-за отсутствия на планете поглощающих сред - воздушной и водной.