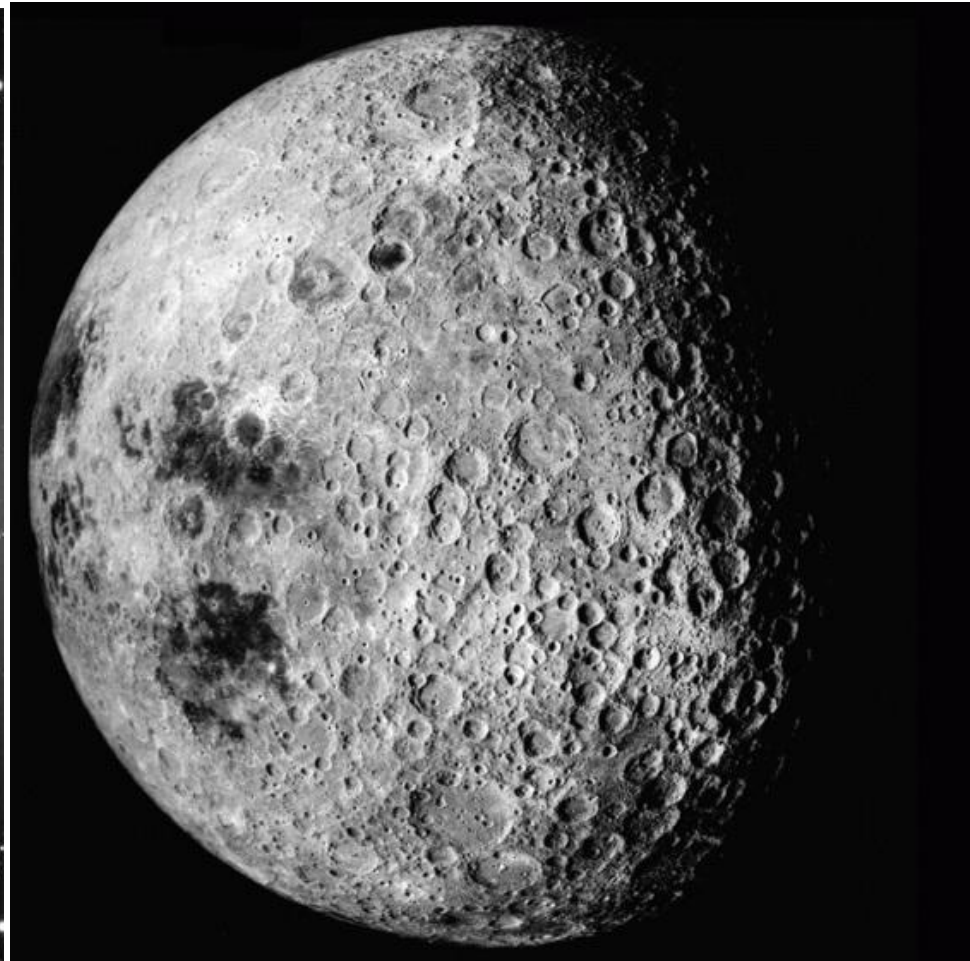


Что мы знаем о горных породах Луны, Марса, Венеры, Меркурия



Луна - наш космический спутник

- Диаметр: **3474 км**
- Масса: **$7,34 \cdot 10^{22}$ кг**
- Плотность: **3340 кг/м^3**
- Период вращения: **27,3 суток**
- Луна – это, пожалуй, единственное небесное тело, в отношении которого с древнейших времен ни у кого не было сомнений, что оно движется вокруг Земли.

География Луны



Даже невооруженным глазом на диске Луны видны темные пятна различной формы. Эти пятна еще в XVII в. стали именовать морями. В те времена полагали, что на Луне есть вода, а значит, должны быть моря и океаны, как на Земле. Итальянский астроном Джованни Риччоли присвоил им названия, употребляемые и по сей день: Океан Бурь, Море Дождей, Море Холода, Море Ясности, Море Спокойствия, Море Изобилия, Море Кризисов, Залив Зноя, Море Облаков и др.

Более светлые области лунной поверхности считалось сушей.

Уже в 1753 г. хорватский астроном Руджер Бошкович доказал, что Луна не имеет атмосферы.

Происхождение Луны – три главные теории



- Первой проработанной теорией, объясняющей происхождение Земли и Солнечной системы с научных позиций, стала «небулярная гипотеза», предложенная шведским естествоиспытателем и теософом Эммануэлем Сведенборгом (Immanuel Swedenborg) в 1735 году и развитая французским математиком и астрономом Пьером-Симоном **Лапласом** (Pierre-Simon Laplace) в 1796 году. В этой модели межзвездные туманности — облака газа и пыли в открытом космосе — сжимаются и конденсируются в звезды и окружающие их планеты. Тела Солнечной системы, таким образом, растут постепенно, а в их столкновениях выделяется достаточно тепла для плавления вещества и его расслоения на разные фракции в зависимости от плотности. В основных чертах теория Лапласа оказалась верна, хотя большую часть XIX и начало XX века она не пользовалась популярностью.

Для Лапласа самым естественным объяснением происхождения Луны должно было быть ее формирование одновременно с Землей (в процессе, называемом совместной аккрецией). В таком случае Луна была постоянным компаньоном нашей планеты с самых ранних дней ее существования.

Происхождение Луны – три главные теории

- Самая многообещающая альтернатива была предложена в 1878 году астрономом и математиком Джорджем Дарвином (George Darwin), сыном великого натуралиста Чарлза Дарвина. Дарвин полагал, что молодая наполовину расплавленная Земля могла вращаться столь быстро, что вызванное этим экваториальное утолщение утратило стабильность и значительное количество выброшенного в космос вещества сконденсировалось в Луну.
- В начале 1950-х химик Гарольд Юри (Harold Urey) и астроном Хорст Герстенкорн (Horst Gerstenkorn) пересмотрели теорию захвата, впервые предложенную Томасом Джефферсоном Джексон Си (Thomas Jefferson Jackson See) в 1909 году. В этой модели Луна образовалась в другом месте Солнечной системы, а затем была захвачена на околоземную орбиту.
- Третья теория прошла почти незамеченной. В 1946 году канадский геолог Реджинальд Олдворт Дейли (Reginald Aldworth Daly) предложил вариацию дарвиновской идеи разделения. Он предположил, что мощный удар по молодой Земле другого тела планетных размеров мог обеспечить достаточное количество энергии для выброса вещества, из которого сформировалась Луна. Несмотря на высокую репутацию Дейли как геолога, его соображения о происхождении Луны по большей части не принимались всерьез.

Происхождение Луны – три главные теории

- До экспедиций на Луну 1969-1972 годов бытовало несколько теорий происхождения Луны.
- 1. одновременное формирование Луны и Земли в процессе аккреции
- 2. захват Луны Землей
- 3. Луна оторвалась от Земли на ранних стадиях ее развития

Всё изменилось после того, как NASA получило образцы лунных пород.

- 24 июля 1969 года «Аполлон-11» доставил на Землю 22 кг лунных пород. В 1969-1972 гг. шесть пилотируемых лунных модулей были направлены в те районы Луны, геологическая история которых с высокой вероятностью должна быть разной. На Землю для анализа доставили 383 кг лунных пород.

В начале 1970-х годов сторонники конкурирующих теорий бились над объяснением данных «Аполлонов», но никому не удалось достичь полного согласия с новыми фактами. К счастью, наготове была еще одна, упущенная ранее идея — гипотеза гигантского столкновения Реджинальда Дейли. Она вернулась в научный оборот в 1975 году в статье Уильяма Хартмана и Дональда Дэвиса (William K Hartmann, Donald R Davis) из Планетологического института в Аризоне (США).

- Аластер Кэмерон и Уильям Уорд (Alastair GW Cameron, William R Ward) из обсерватории Гарвардского колледжа (США) уточнили: если тело было размером с Марс и ударило по касательной, большая часть выброшенного материала должна поступить из земной мантии, что объясняет низкую плотность Луны по сравнению с Землей. При этом выделяется достаточно тепла, чтобы основная часть летучих веществ испарилась в космос.

Луна – продукт столкновения



С конца 1980-х годов число фактов, подтверждающих, что Луна образовалась из вещества, выброшенного при гигантском столкновении, стало быстро расти. Компьютерные модели позволили оценить массы врезавшегося тела, молодой Земли и выброшенного вещества, а в 2000 году геохимик Алекс Холлидей (Alex Halliday) даже присвоил налетевшему на Землю объекту имя Тейя (Theia) в честь матери лунной богини Селены в греческой мифологии.

- Несмотря на все трудности, ясно, что ударная гипотеза по-прежнему дает лучшее на сегодня объяснение свойств Луны. Она, вероятно, потребует дальнейших уточнений, но всё же мы прошли огромный путь к пониманию природы нашего космического соседа.

Геология Луны

- Как образовались лунные кратеры? Этот вопрос стал причиной длительной дискуссии. Речь идет о борьбе между сторонниками двух гипотез происхождения лунных кратеров: вулканической и метеоритной.

Согласно вулканической гипотезе, которую выдвинул в 80-х гг. XVIII в. немецкий астроном Иоганн Шретер, кратеры возникли в результате грандиозных извержений на поверхности Луны. В 1824 г. его соотечественник Франц фон Груйтуйзен предложил метеоритную теорию, объяснявшую образование кратеров падением метеоритов. По его мнению, при таких ударах происходит продавливание лунной поверхности.

- Полеты к Луне начиная с 1964 г. американских космических аппаратов серии "Рейнджер", открытие кратеров на Марсе и Меркурии, а затем на спутниках планет и астероидах подвели окончательный итог в этой "столетней войне", продолжавшейся не 100 лет, а гораздо дольше. **Метеоритная теория теперь является общепринятой.**

- Плотность Луны равна 3340 кг/м^3 - как у земной мантии. Это значит, что наш спутник или не имеет плотного железного ядра, или оно очень маленькое. Более детальные исследования получены в результате сейсмических экспериментов.
- Установленные на Луне сейсмометры сообщили о многочисленных сотрясениях внутри Луны, развеяв тем самым представление о том, что геологическая активность на спутнике давно прекратилась. Оказалось, что сейсмические сотрясения происходят на Луне регулярно, однако они сильно отличаются от землетрясений на нашей планете. Было выявлено четыре вида лунотрясений - **приливные, тектонические, метеоритные и термальные.**



Мощная материковая кора охватывает всю Луну, не разделяясь, как на Земле, на отдельные континенты, и лишь в некоторых местах она утончается и перекрывается базальтовыми покровами. Под корой до глубины 800 км лежит мантия, в которой, начиная с глубины примерно 100 км, появляются признаки слабой современной активности, проявляющиеся лунотрясениями. Глубже 800 км, по-видимому, появляется существенное количества расплава, который не пропускает поперечные сейсмические волны. Эпицентры лунотрясений складываются в два широких размытых пояса, не совпадающих с поясами темных морей.

- Экспедиции американских астронавтов на Луну (1969-1972 гг.), посадки советских автоматических станций «Луна-16, -20 и -24» (1970-1976 гг.), доставлявших на Землю лунный грунт, - эти замечательные эксперименты привели к возникновению новой науки - лунной минералогии. Лунные минералы попали в руки специалистов, стало возможным сравнивать их строение и состав с земными минералами и метеоритами.

Прежде всего по содержанию радиоактивных изотопов был определен возраст лунных пород. Древнейшие из них, как показало исследование уран-свинцовым методом, образовались **4,46 млрд лет** назад. Близкие результаты дало применение стронциевого метода. Но ведь почти таков же (4,6 млрд лет) возраст древнейших горных пород Земли и метеоритов. Значит, именно тогда, около 4,5 млрд лет назад, сформировалась Солнечная система, в том числе Земля, Луна и те тела, осколки которых прилетают к нам в виде метеоритов.

- Анализ лунных минералов позволил понять, в чём состоят различия между материками и морями на Луне. Выяснилось, что моря покрыты вулканическими породами, в основном базальтами. Они имеют округлую форму, ровную поверхность, об относительной молодости которой говорит не только радиоактивный анализ, но и сравнительно малое число кратеров, образованных ударами крупных метеоритов. Все это показывает, что «моря» - результат грандиозных лавовых излияний из недр Луны, вызываемых ударами о её поверхность небольших астероидов.

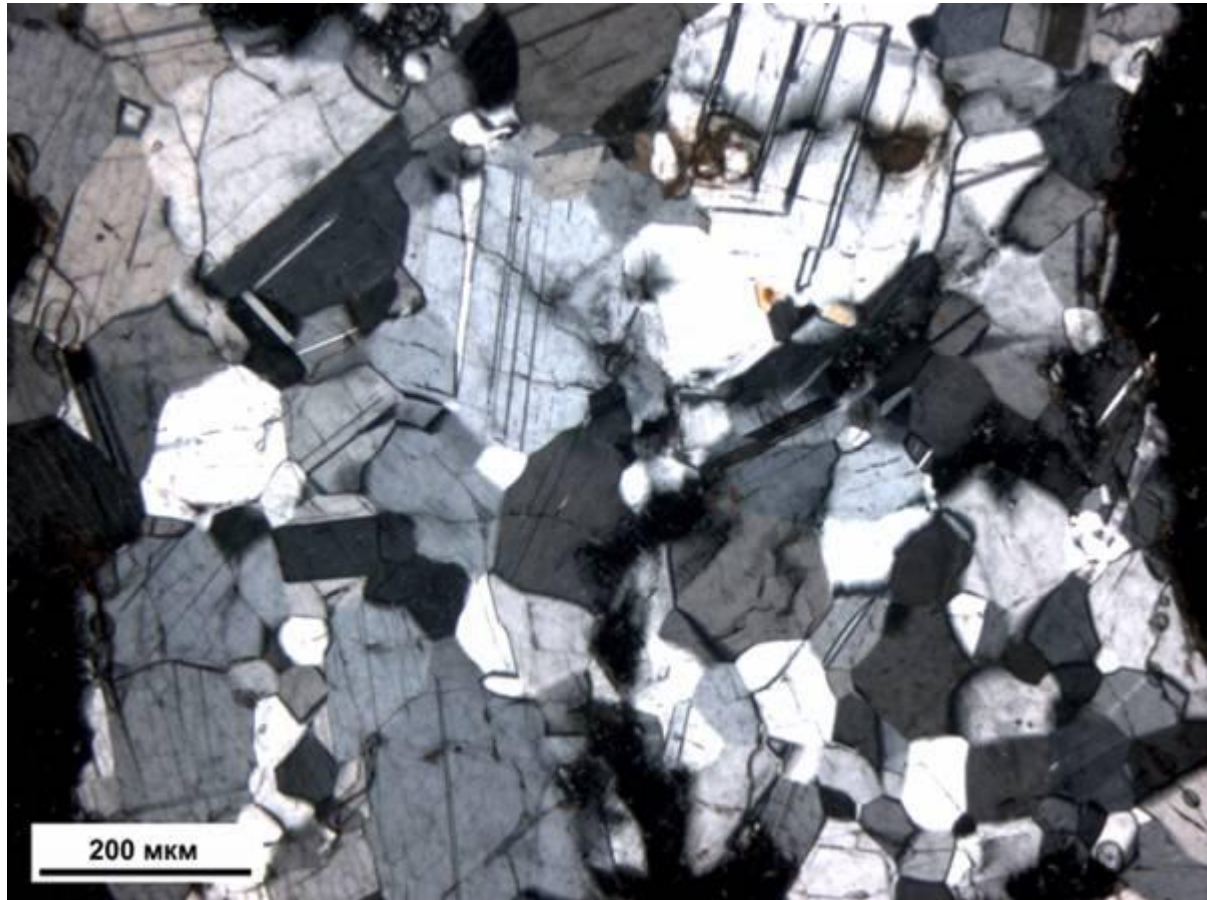
Таким образом, когда-то лунные моря были настоящими морями, только не водными, а лавовыми. Радиоактивный анализ показал, что большинство из них (Море Паров, Море Ясности, Море Спокойствия, Океан Бурь) образовалось 4 млрд лет назад. Несколько моложе Море Дождей: со времени его возникновения прошло 3,87 млрд лет. Вероятно, в этот период на Луну выпадали остатки того роя тел, из которого сформировались Земля и Луна.

Магматические породы Луны

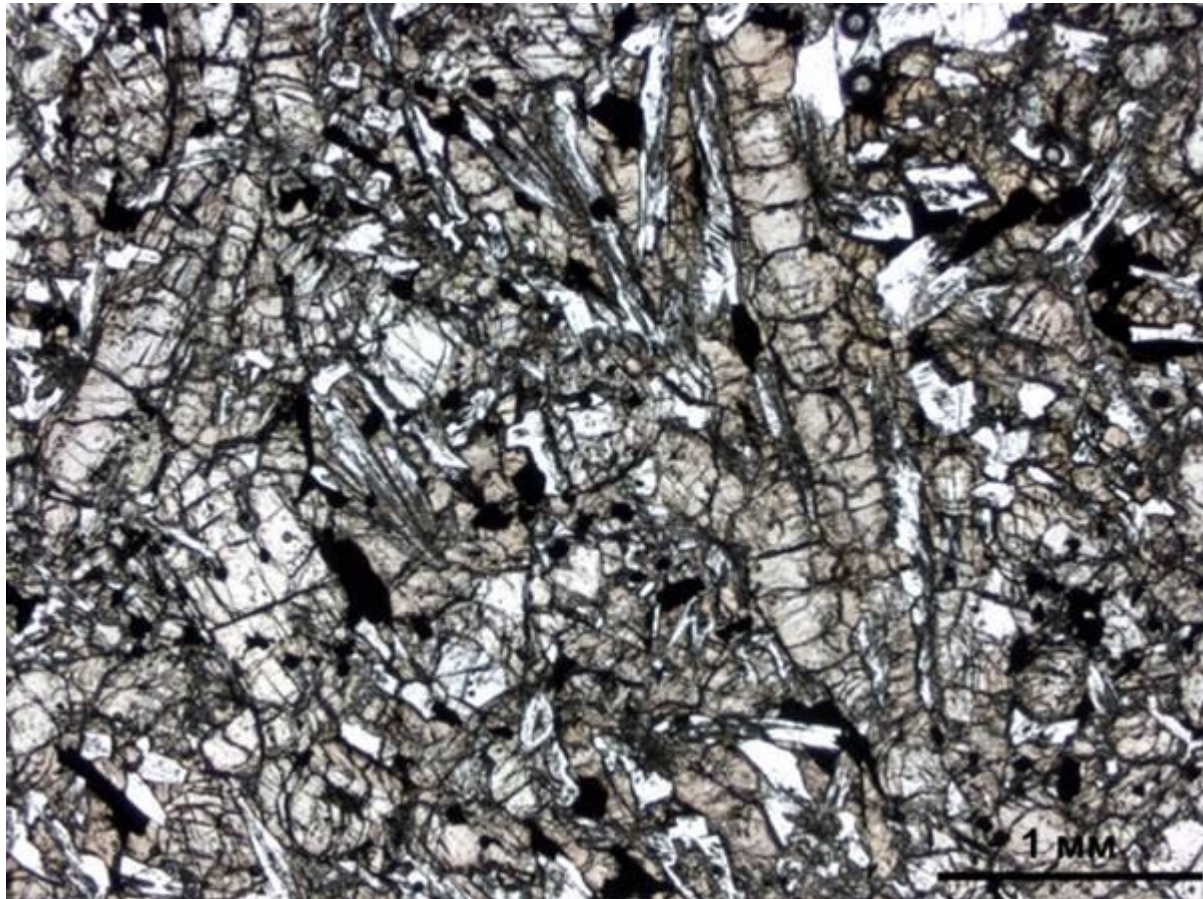
- Среди лунного каменного материала выделяют со значительной долей условности вулканические и интрузивные породы. Те и другие представлены главным образом аналогами земных базитов. Самыми распространенными являются базальты-долериты и анортозиты. Кроме того, отмечены габбро, нориты, троктолиты, единичные обломки ультраосновных, средних и кислых пород.
- В составе лунных базальтов-долеритов: оливин (Fo 75-30), клинопироксен (пижонит, ферроавгит и др.), плагиоклаз (An 97-70), самородное железо с примесью никеля и троилит (FeS). В основной массе базальтов сохраняется стекло.
- Кроме того, обнаружены своеобразные базальты и долериты, содержание ильменита в которых достигает 10-20 об. %.

Магматические породы Луны

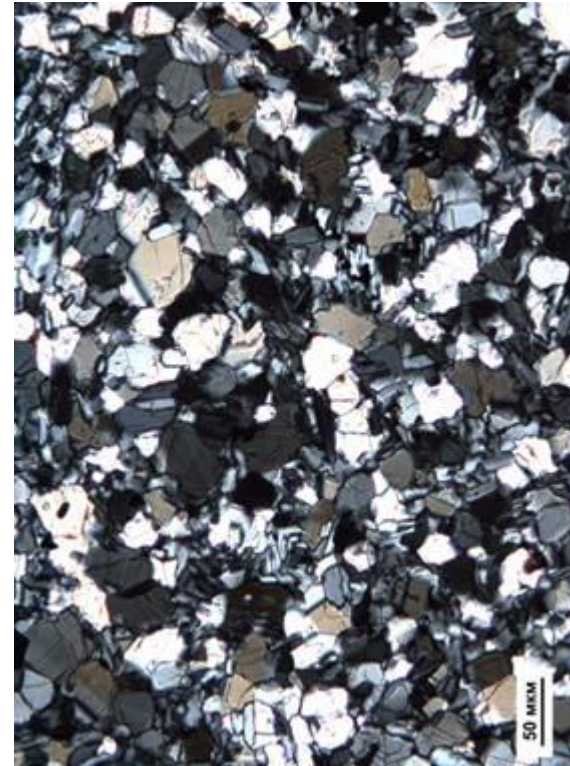
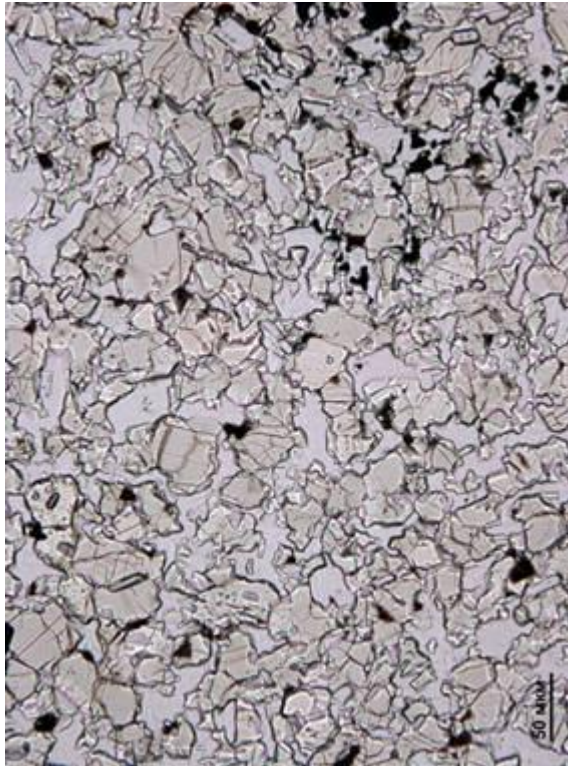
- По сравнению с земными базальтами и долеритами лунные породы состоят из более железистых оливина и пироксена, более основного плагиоклаза, обогащены ильменитом, содержат самородное железо.
- По хим. составу лунные породы отличаются повышенными концентрациями Ti, Fe и минимальными концентрациями Na, K, P. Они рассматриваются как продукты дифференциации пикритовых и пикробазальтовых магм.
- Лунные анортозиты – мелкозернистые породы, почти нацело состоящие из основного плагиоклаза (An 100-75). От земных анортозитов они отличаются более основным плагиоклазом и мелкозернистым сложением.
- В коллекции лунных пород большой интерес представляют несколько мелких обломков гранитных пород. Скорее всего, это затвердевшие остаточные расплавы, которые обособились в конце



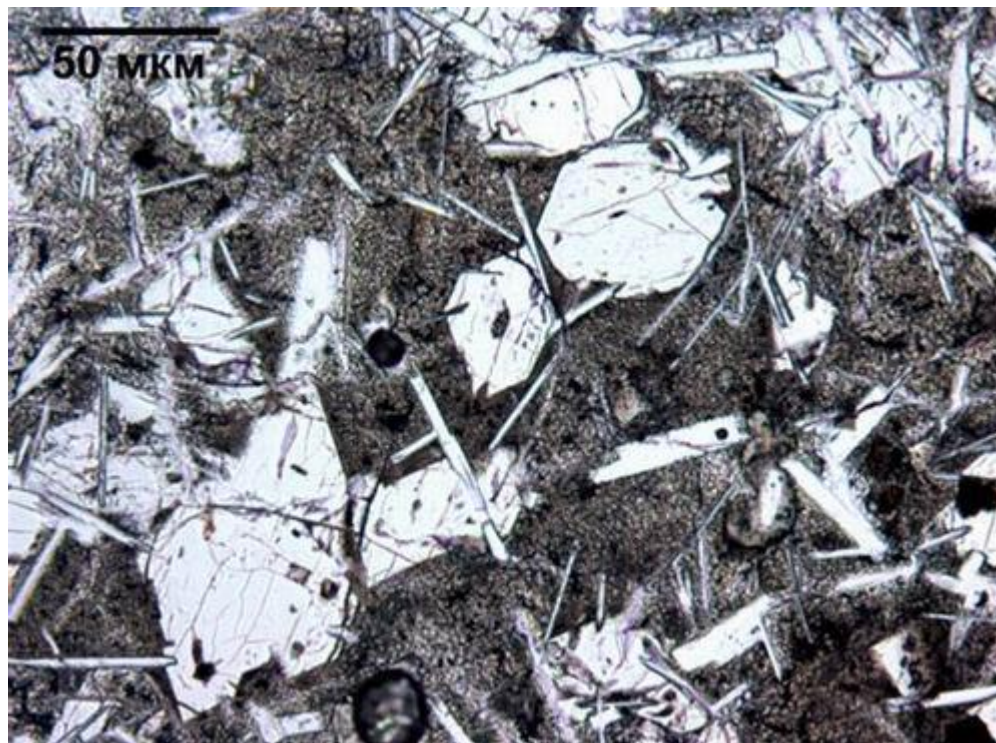
- Шлиф 861, «Луна-20», проходящий свет, николи скрещены.
- Анортозит, полнокристаллическая плагиоклазовая порода, в которой не наблюдается никаких следов ударного воздействия. Можно предполагать, что эта порода имеет магматическое происхождение.



- Шлиф 12018,80, «Аполлон-12», проходящий свет, без анализатора.
- Базальт (долерит) с низким содержанием титана. Порода сложена слабо коричневатым пироксеном, изометричными выделениями оливина (прозрачный) и лейстами плагиоклаза (прозрачный). Ильменит (непрозрачный) имеет второстепенное значение в этой породе. По данным орбитального изучения лунной поверхности породы такого типа, вероятно, пользуются наибольшим распространением в морских районах Луны.



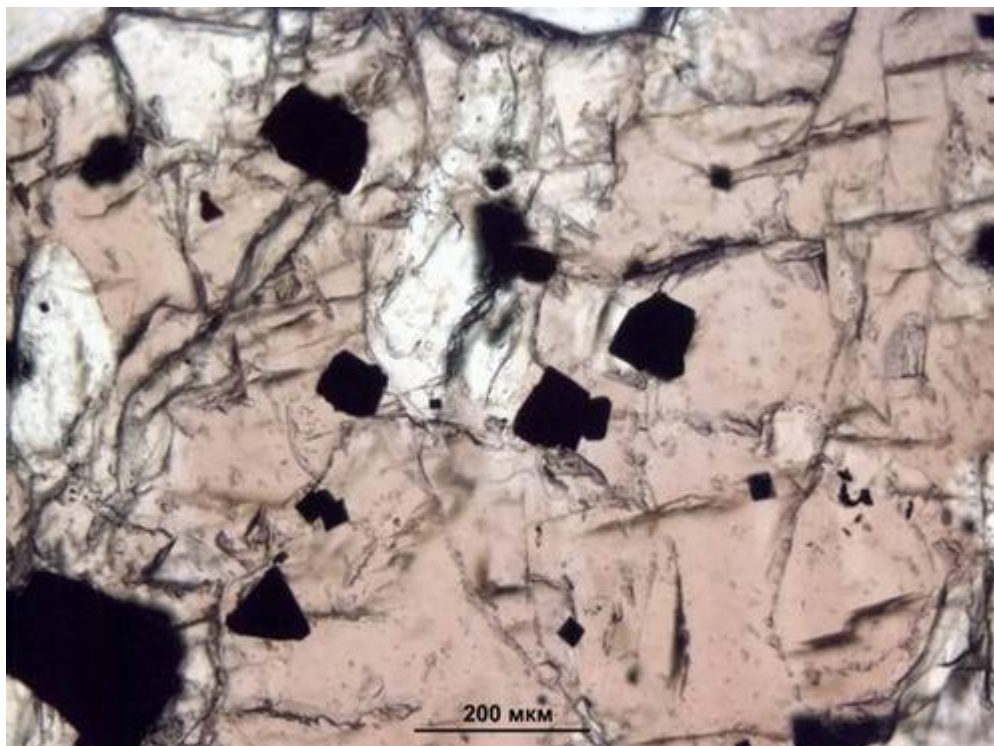
- **Шлиф 1517, «Луна-24», проходящий свет, без анализатора (слева), и в скрещенных николях (справа)**
- Ферробазальт (долерит) с очень низким содержанием титана. Породе в основном сложена пироксеном (слегка коричневатый) и плагиоклазом (бесцветный). Содержание рудного минерала (черный, в основном хромит) очень незначительно. Равномернозернистая структура породы и отсутствие лейст плагиоклаза предполагает, что она испытала термальный метаморфизм и является метабазальтом. Породы данного типа доминируют в месте посадки «Луны-24». Они не обнаружены в образцах экспедиций «Аполлон», но присутствуют в популяции лунных метеоритов.



- **Шлиф 1516, «Луна-24», проходящий свет, без анализатора.**
- Оливиновый базальт. В этой породе фенокристаллы оливина (светлый, прозрачный) и тонкие лейсты плагиоклаза погружены в плохо раскристаллизованную криптокристаллическую, коричневатую матрицу. Такая структура предполагает быструю кристаллизацию расплава, содержащего кристаллы оливина, на лунной поверхности. В отличие от обычных ферробазальтов «Луны-24», эта порода более магнезиальна, но также обладает очень низким содержанием титана.



- **Шлиф 13, «Луна-16», проходящий свет, без анализатора.**
- Базальтовые породы «Луны-16» несколько обогащены титаном по сравнению с типичными низкотитанистыми лунными базальтами и отличаются также повышенным содержанием алюминия. В этой породе черные (непрозрачные) лейсты – ильменит, коричневые зерна – клинопироксен, прозрачные лейсты – плагиоклаз. Встречаются также редкие округлые зерна оливина (прозрачный).



- Шлиф 530, «Луна-16», проходящий свет, без анализатора.
- В породах «Луны-16» обычно наблюдаются октаэдрические кристаллы хромита, которые, как правило, заключены в зерна клинопироксена (коричневатый) или оливина.

Марс

- Четвертая планета Солнечной системы, удаленная от Солнца на среднее расстояние 228 млн. км, примерно вдвое меньшая Земли (экваториальный радиус 3394 км) и в девять раз меньше по массе ($6.421 \cdot 10^{23}$ кг). Период вращения 24 часа 37 минут 22.6 секунд. Экватор наклонен к плоскости орбиты на $24^\circ 56''$, (почти как у Земли). Поэтому на Марсе имеется смена времен года, похожая на земную. Марсианский год длится 687 земных суток.

На поверхности наблюдается множество устойчивых деталей: яркие области оранжево-красноватого цвета (материки); полярные шапки – белые пятна, образующиеся вокруг полюсов осенью и исчезающие; темные области ("моря"), занимающие 1/3 диска; бассейны и кратеры – следы метеоритной бомбардировки; множество гор вулканического происхождения (высотой до 25-28 км); множество проявлений эрозии, области с хаотическим рельефом, каналы и т. д. Грунт раздроблен и усыпан множеством каменных блоков. По составу породы похожи на земные, но с преобладанием окислов железа.

Магнитное поле в тысячу раз слабее земного. Средняя температура поверхности Марса около 200 К, днем на экваторе она достигает 290 К, а ночью падает до 170 К и до 145 К в полярных шапках; атмосфера состоит из CO_2 и N_2 . Имеются малые примеси H_2O , CO и др. Эквивалентная толщина слоя атмосферной осажденной воды не более 10-20 мкм (на Земле – около 1 см). Остальная вода скована в недрах вечной мерзлоты; атмосферное давление у поверхности в 160 раз меньше чем на Земле. Скорость ветра в атмосфере обычно не превышает нескольких м/с, но иногда возрастает до 40-50 м/с, вызывая глобальные пылевые бури – специфически марсианские явления, продолжающиеся порой несколько месяцев.

Имеются два близкие к планете спутника Фобос и Деймос, открытые в 1877 г. Оба спутника имеют неправильную форму. Размеры Фобоса 22-25 км, Деймоса – около 13 км.



Строение Марса

- В настоящее время структура гравитационного поля Марса детально изучена. Она указывает на небольшое отклонение от однородного распределения плотности в планете. Ядро может иметь радиус до половины радиуса планеты. По-видимому, оно состоит почти из чистого железа или сплава Fe-FeS (железо-сульфид железа) и, возможно, растворенного в них водорода. По-видимому, ядро Марса частично или полностью пребывает в жидком состоянии. Наличие у планеты собственного, хотя и очень слабого, магнитного поля, обнаруженного с помощью космических аппаратов серии "Марс", подтверждает это.

Марс должен иметь мощную кору толщиной 70-100 км. Между ядром и корой находится силикатная мантия, обогащенная железом. Красные оксиды железа, присутствующие в поверхностных породах, определяют цвет планеты.

Сейчас Марс продолжает остывать. Сейсмическая активность планеты слабая. Сейсмограф на американском посадочном аппарате "Викинг-2" за год работы зафиксировал только один легкий толчок, и то скорее всего вызванный не тектоническими процессами, а падением крупного метеорита. Тектонический режим Марса отличается от режима тектоники плит, характерного на Земле. Ведь для последнего необходимо, чтобы основная масса выплавляющегося материала снова затягивалась в мантию вместе с океанической корой. На Марсе же мантийная конвекция не выходит на поверхность и выплавляющаяся базальтовая магма идет на наращивание коры. Эти отличия объясняются прежде всего малой массой Марса (в десять раз меньше земной) и, конечно, тем, что он сформировался дальше от Солнца, вблизи гигантского Юпитера, оказавшего значительное влияние на процесс его образования.

Строение Марса

- Еще в 1659 г. нидерландский ученый Христиан Гюйгенс впервые описал темные области на Марсе. Приблизительно в то же время итальянец Джованни Доменико Кассини обнаружил на планете полярные шапки. До полетов к Марсу разгадать природу деталей марсианского диска не удавалось, хотя на этот счет высказывалось множество гипотез. Только в 60-70х гг. XX столетия фотографии советских "Марсов" и американских "Маринеров" позволили исследовать рельеф красной планеты с близкого расстояния, а Викинги "перенесли" нас прямо на ее поверхность. На первый взгляд поверхность Марса напоминает лунную. Однако на самом деле его рельеф отличается большим разнообразием. На протяжении долгой геологической истории Марса его поверхность изменяли извержения вулканов и марсотрясения, ветер, вода и льды.

Марс

Поверхность планеты состоит как бы из двух контрастных частей: древних высокогорий, покрывающих южное полушарие, и более молодых равнин, сосредоточенных в северных широтах. Кроме того, выделяются два крупных вулканических района - Элизиум и Фарсида. Над обеими областями доминируют несколько огромных потухших вулканов, самым большим из которых является Арсия (27 км) и Олимп (26 км) в возвышенной области Тараис в северном полушарии. Это самые высокие вулканы в Солнечной системе - щитовые. Для сравнения щитовые вулканы Гавайских островов на Земле возвышаются над морским дном всего на 9 км. Щитовые вулканы растут в высоту постепенно, в результате повторных извержений из одного и того же жерла. Хотя в настоящее время эти вулканы, по-видимому, уже не являются действующими, они, вероятно, образовались раньше и были активными намного дольше, чем любые вулканы на Земле. При этом горячие вулканические точки на Земле с течением времени изменяли свое местоположение из-за постепенного движения континентальных плит, так что для "построения" очень высокого вулкана в каждом отдельном случае времени не хватало. Кроме того, низкое тяготение позволяет изверженному веществу образовывать на Марсе намного более высокие структуры, которые не обрушиваются под тяжестью. Разница высот между горными и равнинными областями достигает 6 км. Почему разные районы так сильно отличаются друг от друга, до сих пор не ясно полностью (вода в древности - основная гипотеза или падение астероида).

Высокогорная часть сохранила следы активной метеоритной бомбардировки, происходившей около 4 млрд. лет назад. Метеоритные кратеры покрывают 2/3 поверхности планеты. На старых высокогорьях их почти столько же, сколько на Луне. Но многие марсианские кратеры из-за выветривания успели "потерять форму". Некоторые из них, по всей видимости, когда-то были размыты потоками воды. Северные равнины выглядят совершенно иначе. 4 млрд. лет назад на них также было множество метеоритных кратеров. Но потом катастрофическое событие, о котором мы уже упоминали, стерло их с 1/3 поверхности планеты и ее рельеф в этой области начал формироваться заново. Отдельные метеориты падали туда и позже, но в

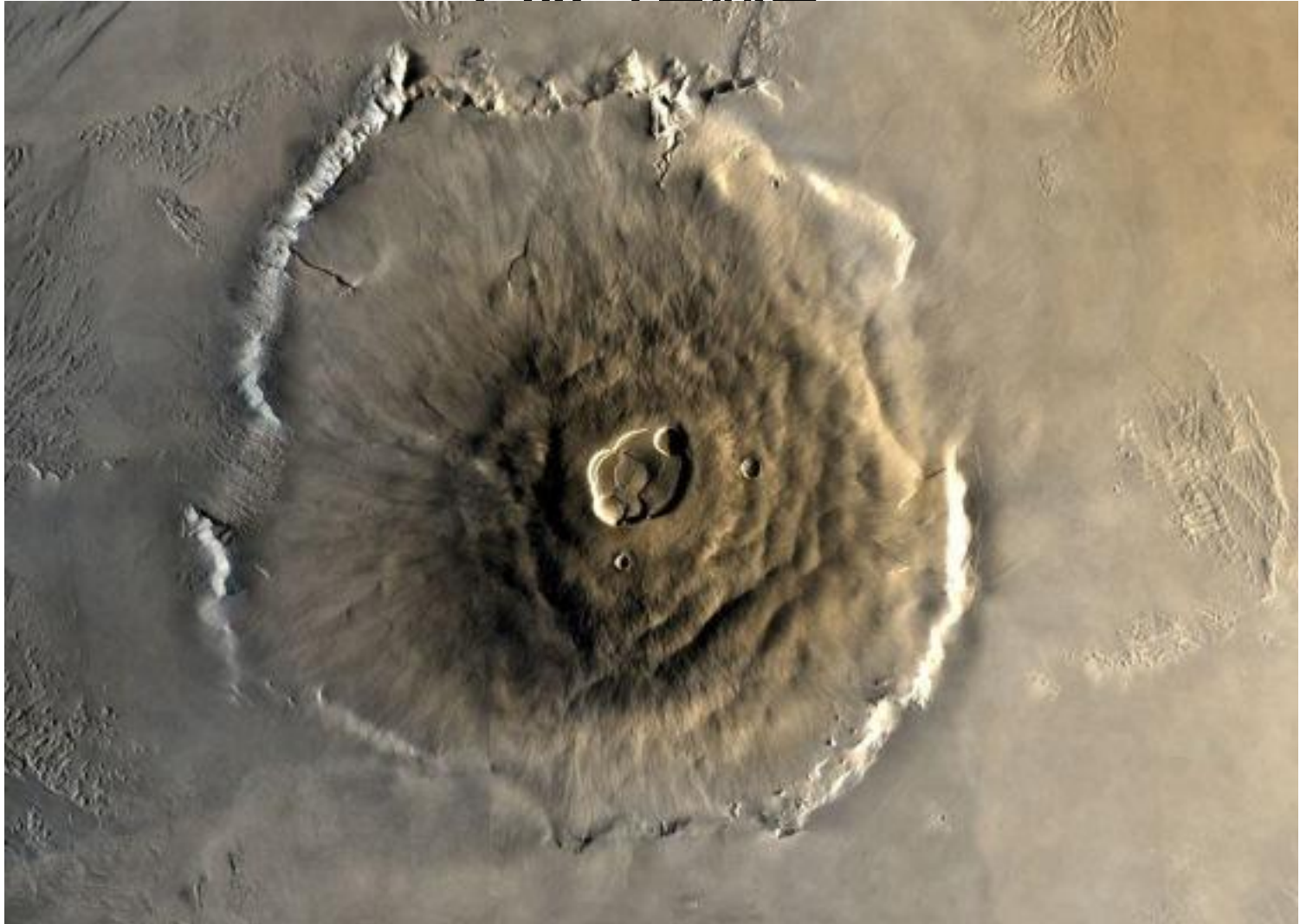
Марс

- Обилие вулканических пейзажей свидетельствует о том, что в далеком прошлом Марс пережил достаточно бурную геологическую эпоху, скорее всего она закончилась около миллиарда лет назад. Наиболее активные процессы происходили в областях Элизиум и Фарсида. В свое время они буквально были выдавлены из недр Марса и сейчас возвышаются над его поверхностью в виде грандиозных вздутий: Элизиум высотой 5 км, Фарсида - 10 км. Вокруг этих вздутий сосредоточены многочисленные разломы, трещины, гребни - следы давних процессов в марсианской коре. Наиболее грандиозная система каньонов глубиной несколько километров - долина Маринера - начинается у вершины гор Фарсида и тянется на 4 тыс. километров к востоку. В центральной части долины ее ширина достигает нескольких сот километров. В прошлом, когда атмосфера Марса была более плотной, в каньоны могла стекать вода, создавая в них глубокие озера.

Вулканы Марса - по земным меркам явление исключительное. Но даже среди них выделяется Олимп (самая большая гора в Солнечной системе). Диаметр основания этой горы достигает 550 км, а высота ее 27,4 км, т.е. она в три раза превосходит Эверест, высочайшую вершину Земли. Олимп увенчан огромным 60-километровым кратером. Около Олимпа есть и другие гигантские вулканы. Эти вулканические конусы возникли в результате спокойных излияний очень жидкой лавы, похожей по составу на лаву земных вулканов Гавайских островов. Следы вулканического пепла на склонах других гор позволяют предположить, что иногда на Марсе происходили и катастрофические извержения.

В прошлом огромную роль в формировании марсианского рельефа играла проточная вода. На первых снимках "Маринера-4" Марс предстал перед астрономами пустынной и безводной планетой. Но когда поверхность планеты удалось сфотографировать с близкого расстояния, оказалось, что на старых высокогорьях часто встречаются словно бы оставленные текущей водой промоины. Некоторые из них выглядят так, будто много лет назад их пробили бурные, стремительные потоки. Тянуться они иногда на многие сотни километров. Часть этих колоссальных "ручьев" обладает довольно почтенным возрастом. Другие долины очень похожи на русла спокойных земных рек. К ним подходят многочисленные притоки, вниз по течению ширина их увеличивается. Своим появлением

Олимп – вулкан на Марсе - самая большая гора в Солнечной системе



Изучение Марса с помощью подвижных модулей



- Модели всех трёх марсоходов в сравнении: Соджорнер (самый маленький), Оппортьюнити (средний), Кьюриосити (самый большой)

Cruise Stage Separation

Time: Entry - 10 min

Cruise Balance Devices Separation

Time: Entry - ~8 min

Entry Interface

Altitude: ~78 miles (~125 km)

Velocity: ~13,200 mph (~5,900 meters/sec)

Time: Entry + 0 sec

Peak Heating

Peak Deceleration

Hypersonic Aero-maneuvering

Heat Shield Separation

Altitude: ~5 miles (~8 km)

Velocity: ~280 mph

(~125 meters/sec)

Time: Entry + ~278 sec

Parachute Deploy

Altitude: ~7 miles (~11 km)

Velocity: ~900 mph

(~405 meters/sec)

Time: Entry + ~254 sec

Radar Data Collection

Back Shell Separation

Altitude: ~1 mile (~1.6 km)

Velocity: ~180 mph

(~80 meters/sec)

Time: Entry + ~364 sec

Powered Descent

Sky Crane

Flyaway

Sky Crane Detail

Rover Separation

Altitude: ~66 feet (~20 meters)

Velocity: ~1.7 mph (~0.75 meter/sec)

Time: Entry + ~400 sec

Mobility Deploy

Touchdown

Altitude: 0

Velocity: ~1.7 mph

(~0.75 meter/sec)

Time: Entry + ~416 sec

Flyaway

Марсоход Curiosity

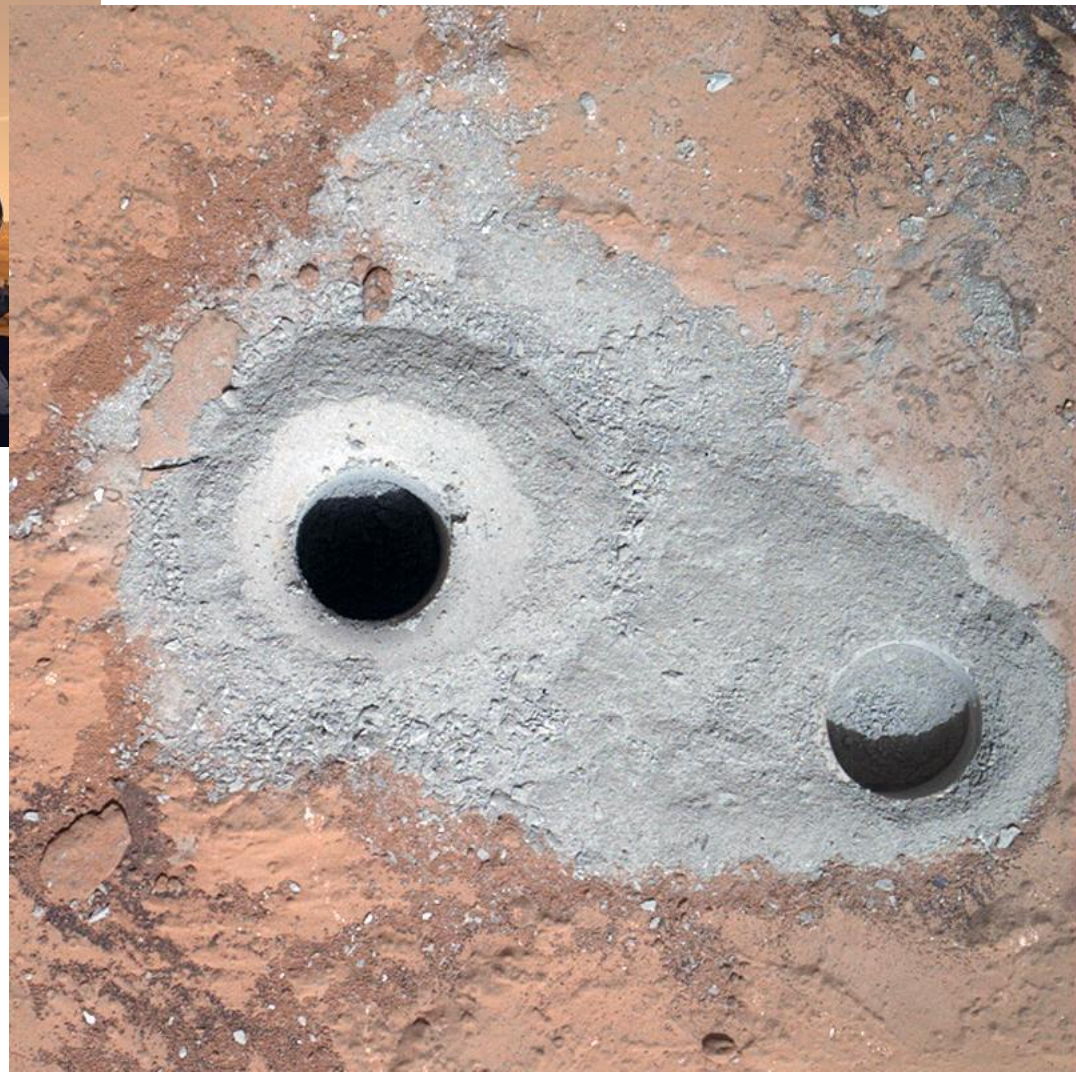


Марсоход совершил мягкую посадку в заданном районе Марса 6 августа 2012 года завершив свой межпланетный перелёт протяжённостью 567 млн км. После посадки марсоход передал на Землю первые снимки с поверхности Марса.

Марсоход Curiosity



Марсоход Curiosity
Бурение грунта





- Горная порода, названная «Джейк Матиевич». Красные точки показывают места, куда марсоход стрелял лазером, фиолетовые круги показывают места, исследованные с помощью рентгена. © NASA/JPL-Caltech/MSS S
- Curiosity обнаружил никогда ранее не встречавшийся на Марсе тип горной породы. Она состоит из различных по химическому составу минералов и имеет вулканическое происхождение. Пробы породы, которую назвали «Джейк Матиевич» в честь недавно умершего исследователя, были взяты при помощи лазерной пушки, а затем исследованы в мобильной лаборатории марсохода. Получилась необычная картина: грунт состоит из фрагментов минералов, в том числе пироксена, полевого шпата и оливина.

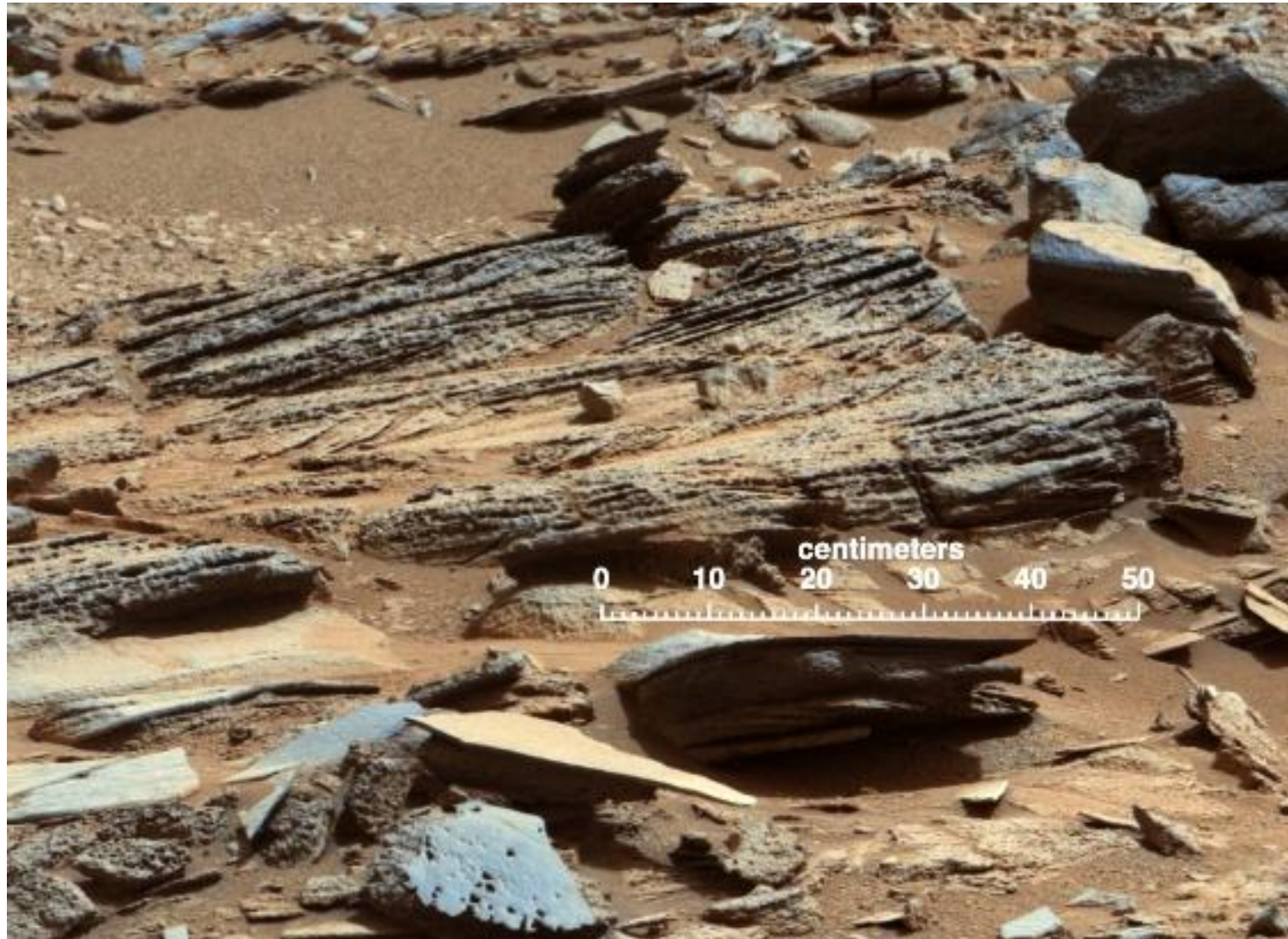
- Важной точкой этого участка пути стал слоистый, с косым залеганием пластов, каменный выступ Shaler, где ДАН показал высокое содержание воды; марсоход отснял его камерой MastCam и «прощупал» спектрометром ChemCam. Рисунок слоев и размеры «песчинок» говорили в пользу формирования породы в текущей воде, где подводные отложения как раз имеют разные наклоны.
- ценная находка: обнажение Sheepbed с очень заметными светлыми прожилками толщиной до нескольких миллиметров. В точке Crest применили лазерный спектрометр ChemCam, и он показал повышенное содержание кальция, серы и водорода. «Эти прожилки, вероятно, состоят из гидратированного сульфата кальция в форме бассанита или гипса, - заявил участник научной группы ChemCam Николя Мангольд (Nicolas Mangold) из Лаборатории Планетологии и геодинамики в Нанте. - На Земле формирование таких прожилок требует циркуляции воды по трещинам». Аналогичный механизм был предложен и для Марса: отложение минерала по краям трещины с постепенным ее заполнением. Происходило это в то время, когда исходная трещиноватая порода находилась под поверхностью планеты.



Осадочные породы на Марсе



Слоистые породы на Марсе



Прожилки гипса на Марсе



NASA Mars Rover Curiosity Scoping Out Next Study Area



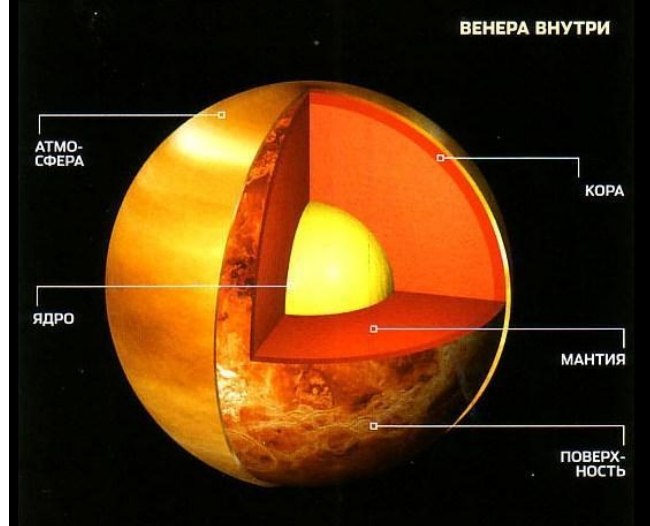
- April 3, 2014
- Source: Jet Propulsion Laboratory
- NASA's Curiosity Mars rover has reached a waypoint selected months ago as the location for the mission's next major investigations.
- **Curiosity's View From Arrival Point at 'The Kimberley' Waypoint**
- **NASA's Curiosity Mars rover recorded this view of various rock types at waypoint called "the Kimberley" shortly after arriving at the location on April 2, 2014.**

Венера

- **Вене́ра** — вторая внутренняя [планета Солнечной системы](#) с периодом обращения в 224,7 [земных суток](#).
- Среднее расстояние Венеры от Солнца — 108 млн [км](#) (0,723 [а. е.](#)). Расстояние от Венеры до [Земли](#) меняется в пределах от 40 до 259 млн км.
- У Венеры самая плотная среди известных землеподобных планет [атмосфера](#), состоящая главным образом из [углекислого газа](#).
- Поверхность Венеры скрывают чрезвычайно густые [облака серной кислоты](#) с высокой отражательной способностью, что мешает увидеть её поверхность в [видимом свете](#) (но [её атмосфера](#) прозрачна для радиоволн, с помощью которых впоследствии и был исследован рельеф планеты).
- По характеру возвышенностей в северном полушарии и к югу от экватора по отношению к среднему уровню поверхности планеты учёные сделали вывод о том, что там имеются так называемые материки. Их называли Материк Истар и Материк Афродиты. Первый представляет собой пространство чуть меньше Соединённых Штатов Америки, на котором находятся самые высокие вершины планеты – горы Максвелл, их высота достигает 11 км. Материк Афродиты больше Африки. Там расположена гора Маат – это вулкан высотой 8 км, из которого в недалёком прошлом извергалась лава.
- На этом континенте существует сложная система огромных каньонов тектонического происхождения. Их длина иногда достигает сотни километров, глубина 2-4 км, ширина до 280 км.

Венера

- До середины XX века с Венерой были связаны очень большие ожидания. До начала космических исследований этой планеты ученые надеялись найти на ней природные условия, очень близкие к земным, или, точнее говоря, к тем, которые Земля проходила в процессе своей эволюции. Для этого были несомненные основания. Обе планеты сходны по многим критериям. Их размеры практически совпадают - экваториальный радиус Венеры равен 6051,8, Земли - 6378,1 км. Разница между полярными радиусами и того меньше - 6051,8 и 6356,8 км. Венера - почти идеальный шар, в то время как наша планета несколько сплюснута у полюсов). Средняя плотность венерианского вещества составляет 95% от плотности земного (5234 и 5515 кг/м³). Ускорение свободного падения на поверхности Венеры равно 8,87 м/с², лишь на 10% меньше земного. И Венера и Земля обращаются вокруг Солнца практически по правильным окружностям, лежащим почти в одной плоскости, эксцентриситеты их орбит равны соответственно 0,0067 и 0,0167. Более того, это единственные твердые околосолнечные планеты, обладающие плотной атмосферой. Венера в космических масштабах расстояний находится рядом с Землей, хотя, как показали дальнейшие исследования, это различие в расстоянии от Солнца оказалось для нее фатальным.



Венера

- В отличие от Земли, Венера не имеет подвижных литосферных плит, плавающих на вязкой мантии. Земная кора из-за их перемещений обновляется каждую сотню миллионов лет, а венерианская, судя по всему, не менялась впятеро дольше. Однако это не означает, что она стабильна. Из глубин Венеры идут потоки тепла, которые постепенно нагревают кору и размягчают ее вещество. Поэтому кора периодически становится пластичной и деформируется, что служит причиной глобальных изменений рельефа. Продолжительность таких циклов, по всей видимости, составляет не менее! полумиллиарда лет. О внутреннем строении Венеры нам тоже известно очень немного. Изучить его можно только с помощью сейсмических методов, а это требует создания долгоживущих - не минуты и часы, а дни и недели! - спускаемых аппаратов. По аналогии с Землей принято считать, что планета состоит из базальтовой коры толщиной в несколько десятков километров, силикатной мантии и железного ядра радиусом меньше 3000 км.

Ядро Венеры

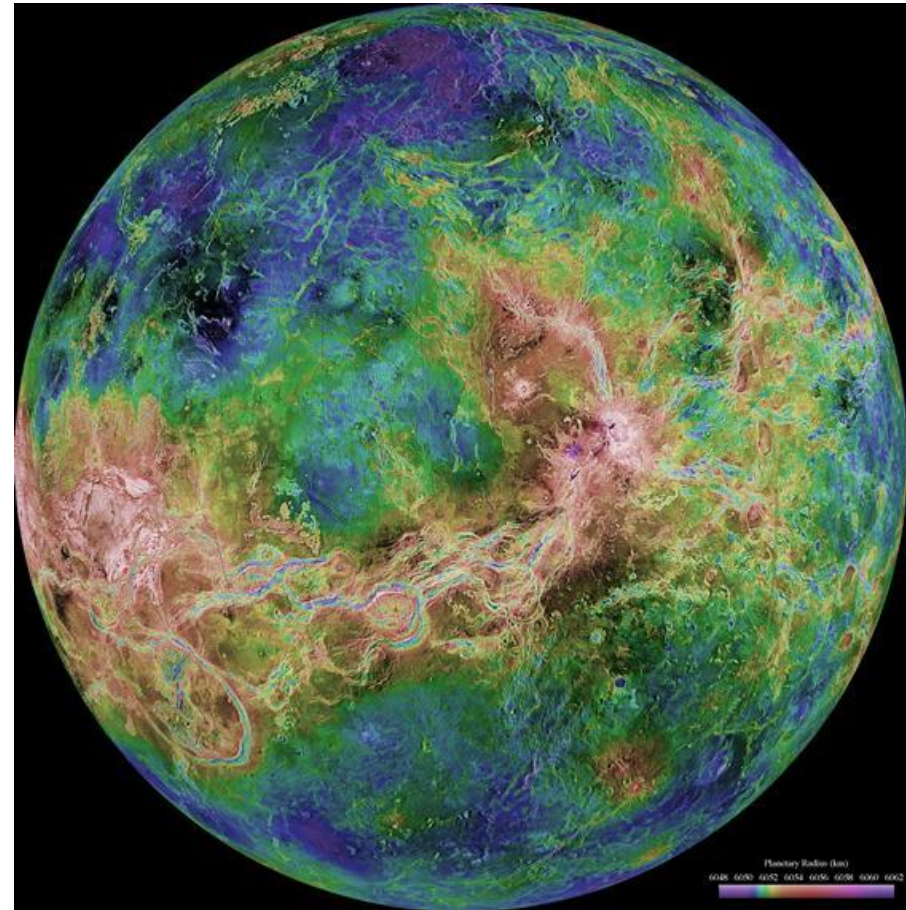
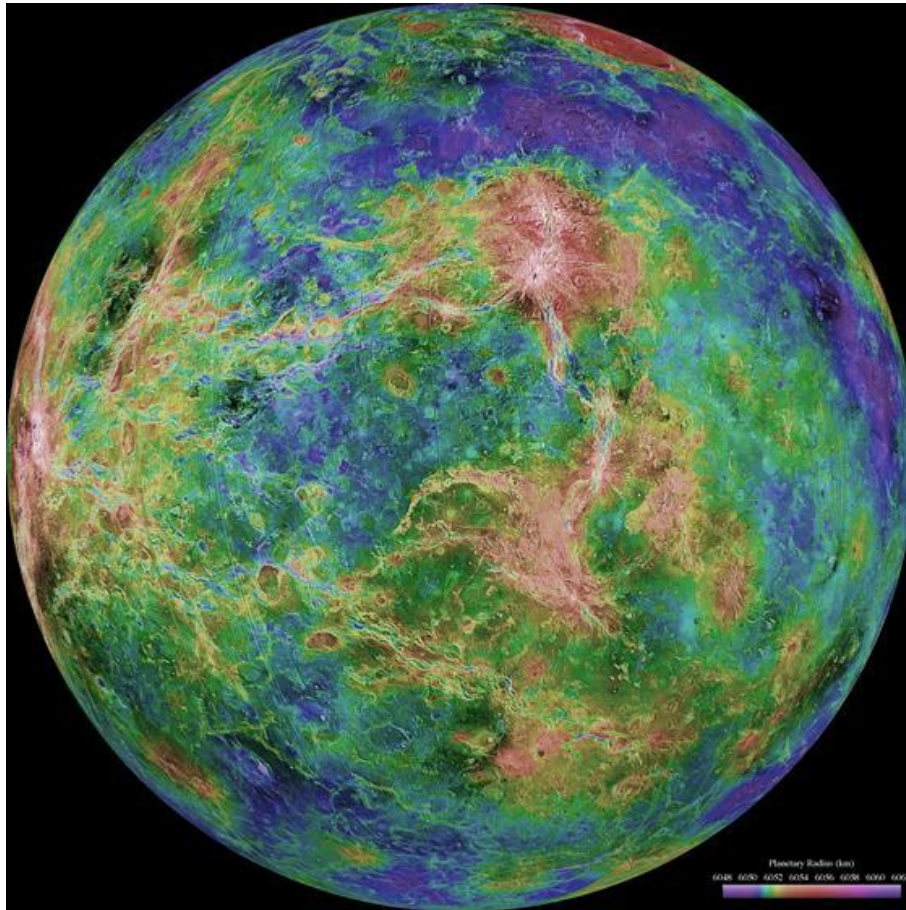
- Твердое у Венеры ядро или жидкое - пока точно не известно. Во всяком случае, в нем нет круговых потоков электропроводящего вещества, поскольку в противном случае у планеты имелось бы стабильное магнитное поле земного типа. "Магнитная пассивность Венеры пока не нашла общепринятой интерпретации, - объяснил директор отдела земного магнетизма вашингтонского Института Карнеги Шон Соломон. - Наличие магнитного поля у Земли скорее всего объясняется постепенным отвердеванием пока еще жидкого внешнего ядра нашей планеты. Этот процесс высвобождает тепловую энергию, обеспечивающую конвективные движения ядерного вещества, которые и делают возможным возникновение магнитного поля. Очевидно, что на Венере этого не происходит. Почему - пока не ясно. Согласно самой правдоподобной гипотезе, венерианское ядро еще не начало отвердевать и поэтому там не рождаются конвективные струи, закручивающиеся благодаря вращению планеты и генерирующие магнитное поле. В противном случае такое поле все-таки должно было возникнуть, хотя по величине оно сильно уступало бы земному, поскольку Венера намного медленнее вращается вокруг своей оси. Теоретически можно допустить, что венерианское ядро уже успело охладиться ниже точки кристаллизации его вещества. Такое возможно, но маловероятно. Для этого пришлось бы допустить, что ядро Венеры состоит из почти чистого железа и практически лишено легких примесей, снижающих температуру фазового перехода. Трудно понять, как Венера могла бы обзавестись таким ядром в процессе ее формирования. Поэтому первая гипотеза выглядит предпочтительней".

- В 1990г космический зонд США "Магеллан" начал программу картирования поверхности с применением сложных радиолокационных методов и со степенью детализации, намного превышающей достигнутый к тому времени уровень. На Землю было передано множество изображений, свидетельствующих как об образовании ударных структур, так и о наличии в относительно недавнем прошлом вулканической деятельности. По стандартам Солнечной системы поверхность Венеры достаточно молода: самые старые кратеры, по-видимому, появились около 800 млн. лет назад. Однако доказательств современной вулканической активности не обнаружено. Из-за мощной атмосферы и высокой температуры ударные кратеры на Венере по форме довольно сильно отличаются от кратеров на других планетах и лунах. Небольшие метеориты, как правило, сгорают в атмосфере Венеры, поэтому на ее поверхности маленьких кратеров нет. Что касается ударных воздействий больших метеоритов, то выброшенное вещество при ударе не раскидывалось по большой площади, а в расплавленном виде растекалось вокруг образовавшихся кратеров. Было обнаружено множество различных деталей вулканического происхождения: потоки лавы, небольшие купола 2-3 км в поперечнике, большие вулканические конусы, имеющие в поперечнике сотни километров, "венцы" и паутинообразные структуры - так называемые "арахноиды". Венцы Венеры - круглые или овальные вулканические образования, окруженные хребтами, углублениями и радиальными линиями.

- Рельеф поверхности Венеры на карте полушарий показан различными цветами: низменности - фиолетовым и синим, невысокие возвышенности - зеленым, высокие нагорья - желтым, бежевым и коричневым, самые высокие участки - белым.
- Первые радиолокационные карты, составленные одним из орбитальных космических аппаратов, показали, что большая часть поверхности Венеры занята обширными равнинами (на 85% равнинная), над которыми возвышаются три области - большие плато высотой в несколько километров. Одна из них представляет собой огромное вулканическое плато (архипелаг Иштар - земля Иштар), сравнимое по размерам с Австралией - в северном полушарии и земля Афродиты вблизи экватора. Выше всех (на 12 км выше среднего уровня поверхности) поднимаются горы Максвелла. Перепад высот вдоль экватора примерно 5 км. Низшая точка на поверхности находится на глубине 2,5 км от среднего уровня.

На поверхности Венеры обнаружены кратеры, разломы и другие признаки протекавших на ней интенсивных тектонических процессов. Отчетливо просматриваются и следы ударной бомбардировки. На планете резко преобладают, занимая около 85% площади, вулканические, очевидно, базальтовые равнины, а среди них наиболее распространены разновидности с гладкой (в масштабе изображений) поверхностью, осложненной сетью узких извилистых пологосклонных гряд.

Рельеф поверхности Венеры



Рельеф поверхности Венеры на карте полушарий показан различными цветами: низменности - фиолетовым и синим, невысокие возвышенности - зеленым, высокие нагорья - желтым, бежевым и коричневым, самые высокие участки - белым

Вулканы на Венере



Венера: кратеры и сеть трещин



- Восемьдесят процентов венерианской поверхности составляют плоские и холмистые равнины вулканического происхождения. Большая часть остатка приходится на четыре исполинских горных массива - Земля Афродиты, Земля Иштар и уже упоминавшиеся области Альфа и Бета. Основной материал поверхности - базальтовая лава. Там обнаружено порядка тысячи ударных кратеров диаметром от трех до трехсот километров. Отсутствие кратеров меньшего размера легко объясняется тем, что метеориты, способные их оставить, теряют скорость в атмосфере или просто сгорают. Венера изобилует вулканами, но пока неизвестно, прекратилась ли там активная вулканическая деятельность, а это принципиально для понимания эволюции планеты. Кроме того, несмотря на данные спутника Magellan, ученые пока еще плохо представляют себе геологию Венеры. А геология - это ключ к пониманию внутреннего строения и эволюционных процессов.



- Кратер Зоя диаметром 22 км - типичный малый кратер на Венере. 80% из 967 метеоритных кратеров Венеры имеют диаметр менее 30 км. На радарных снимках днище их темное, что указывает на гладкую поверхность. Валы этих кратеров и выбросы из них - светлые, из-за сильного рассеивания радарного сигнала, обусловленного большой шероховатостью поверхности, покрытой обломками каменного материала, выброшенного при взрыве во время образования кратера.

- Горные породы Венеры по своему составу схожи с земными базальтовыми породами. Морфология ландшафта, наблюдаемая на планете, кратеры, образовавшиеся в результате извержения вулканов и метеоритной бомбардировки, различные тектонические феномены свидетельствуют об очень сложном и активном геологическом прошлом.

Венера

- Единственный способ получить изображение поверхности Венеры извне и составить ее карту - это радиолокационные наблюдения. Изображения, полученные радиолокатором (радаром) бокового обзора, практически не отличаются от чернобелых фотографий или телевизионных снимков. Их анализ - главный способ изучения геологического строения поверхности Венеры. Важным дополнением к ним служат данные о высотах поверхности, получаемые с помощью радиовысотомера (радиосигнал посылается по вертикали к поверхности планеты, отражается от нее и принимается на борту спутника). По времени между посылкой радиоимпульса и его приемом определяется высота спутника над планетой и строится карта высот поверхности. Среди структур рельефа, выявленных на поверхности Венеры с помощью радиолокационных снимков, особый интерес представляют два типа свойственных только Венере образований - тессеры и венцы. Впервые они были обнаружены при анализе данных, полученных с отечественных искусственных спутников «Венера-15 и -16» в 1983-1984 годах.

- Тессеры (от греч. - «черепица») представляют собой возвышенности, нагорья размером от сотен до тысяч километров, поверхность которых пересечена в разных направлениях системами хребтов и разделяющих их желобов-долин. Эти хребты образуют сложную мозаику, напоминающую черепичную крышу, так как поверхность их имеет многочисленные ступенчатые перепады высот. Тессеры образованы в результате неоднократных сложных тектонических движений верхних слоев планеты, сопровождаемых расколами, поднятиями и опусканиями различных участков поверхности. Областям тессер, как наиболее древним структурам планеты, присвоены имена различных богинь, связанных со временем и судьбой. Так, крупное нагорье такого типа, протянувшееся на 3 000 км неподалеку от северного полюса Венеры, названо тессерой Фортуны, а к югу от него находится тессера Лаймы, носящая имя латышской богини счастья и судьбы. Тессеры, занимающие 8% территории планеты, - второй по распространенности тип рельефа на Венере после равнин (около 80% территории). На все остальные 10 типов рельефа приходится примерно 12% всей площади планеты.
- Второй тип уникальных образований - венцы (округлые возвышенности диаметром от 100 до 600 км), состоящие из кольца горных гряд с межгорным плато в центре. Плато расположено, как правило, ниже, чем кольцо гряд, но выше, чем равнинная местность вокруг него. Таких венцов на Венере несколько сотен. Считается, что эти структуры образовались над так называемыми мантийными плюмами (потoki разогретого материала, поднимающегося к поверхности из частично расплавленной мантии, расположенной под твердой корой планеты). Вокруг многих из венцов наблюдаются застывшие лавовые потоки, расходящиеся в стороны в виде широких языков с фестончатым внешним краем. Венцы могли служить основными источниками, через которые на поверхность планеты поступало расплавленное вещество из недр. Застывая, эти лавы сформировали обширные равнинные участки, занимающие теперь около 80% территории Венеры.

- Исследования поверхности Венеры всегда осложнялись и осложняются тем обстоятельством, что увидеть ее с орбиты в видимом диапазоне практически невозможно, поскольку она закрыта мощным слоем сернокислотных облаков. Картировать нашу небесную соседку удалось лишь с использованием методов радиолокации. Первая съемка поверхности Венеры была осуществлена запущенным в 1978 г. американским аппаратом Pioneer Venus Orbiter, детальная съемка поверхности северного полушария планеты - советскими АМС «Венера-15» и -16 (1983 г.), а наиболее подробную карту, охватывающую 98% поверхности, получил американский КА «Магеллан» в 1990-94 гг.

Конечно, составление топографической карты - лишь первый шаг в изучении Утренней звезды. Чтобы понять эволюцию планеты, необходимо исследовать состав слагающих ее пород. А этой возможности радиолокационные изображения, увы, не дают.

- Между тем планетологов очень интересует, содержат ли определенные геологические образования Венеры материалы, богатые силикатами, то есть «кислые» (фельзические) породы. Большинство земных пород этого типа, и прежде всего гранит, образуются в водной среде. Венера сейчас нагрета почти до $+500^{\circ}\text{C}$ и безводна, но считается, что в более ранние эпохи на планете были значительные запасы воды, как и на Земле. Доказательством этой гипотезы как раз и может служить наличие кислых пород. Между тем планетологов очень интересует, содержат ли определенные геологические образования Венеры материалы, богатые силикатами, то есть «кислые» (фельзические) породы. Большинство земных пород этого типа, и прежде всего гранит, образуются в водной среде. Венера сейчас нагрета почти до $+500^{\circ}\text{C}$ и безводна, но считается, что в более ранние эпохи на планете были значительные запасы воды, как и на Земле. Доказательством этой гипотезы как раз и может служить наличие кислых пород.

- Детальный анализ изображений поверхности Венеры уже проявил общую картину ее геологической эволюции. Наблюдаемые на ней геологические образования формируют 3 структурных этажа. В первый, наиболее древний, входят тессеры, горные пояса, равнины с густой сетью борозд-трещин и пояса гряд. Во второй, промежуточный по возрасту, - обширные равнинные области. В третий, наиболее молодой, - гладкие равнины и равнины с языковидными лавовыми потоками. Вещественный состав первого «этажа» неизвестен, ни один из космических аппаратов не совершал посадку в такие районы. Горные породы второго и третьего - это базальтовые лавы, сходные с теми, что слагают дно океанов на Земле. Их химический состав был неоднократно определен при посадках автоматических станций в различных районах Венеры с помощью комплекса аналитических приборов, созданных в лаборатории Ю.А. Суркова в ГЕОХИ. Достоверных следов современной геологической активности на планете не обнаружено. Считается, что за последние 500 млн. лет там не произошло сколько-нибудь существенных изменений. В возможной активности «подозревается» только один из крупнейших вулканов планеты - гора Маат.



- Долина Лунанг - извилистая ложбина, вьющаяся между горными отрогами тессеры Атропос. Это ныне сухое русло длиной 250 км и шириной 1-1,5 км образовалось в результате быстрого течения очень подвижной лавы малой вязкости, излившейся на поверхность Венеры из вулканического кратера на склоне высокогорного массива. Большие порции лавы растекались по низинам, где медленно застывали, образуя базальтовые равнины. А более поздние излияния промывали в еще не затвердевшей поверхности своего рода русла, по которым текла лава.



- Крупнейший вулкан Венеры - гора Маат возвышается на 8 км над своим подножием и на 11 км - над средним уровнем планеты. Диаметр основания этого вулкана - 600 км. Только здесь найдены признаки недавней активности - вершина горы покрыта темным веществом с уникальными характеристиками, которых нет ни у одного из сотен вулканов Венеры. На переднем плане - свежий лавовый поток, в центре - кратер Пископия диаметром 26 км, узкая светлая линия - тектонический разлом, указывающий, что в этой области были землетрясения. На горизонте - еще один крупный вулкан высотой 7 км - гора Уззы

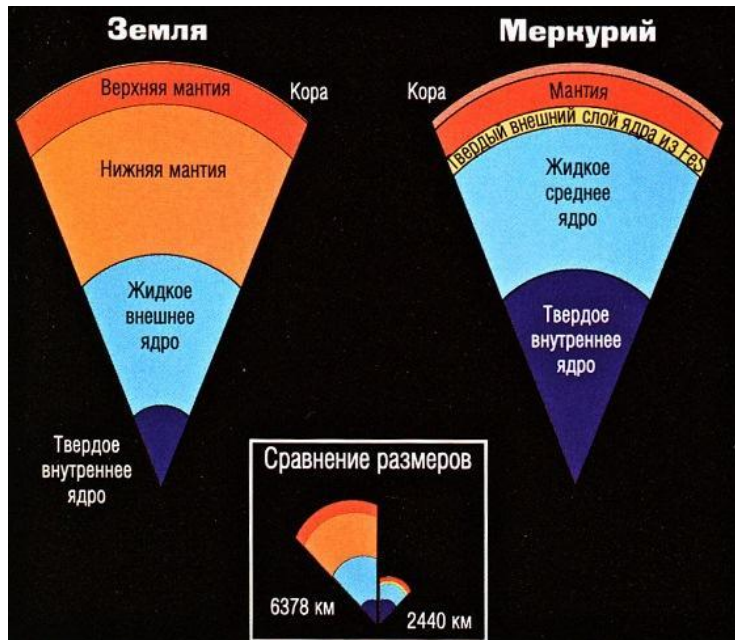
Меркурий - планета ближайшая к Солнцу

- **Меркурий**, самая близкая к Солнцу планета Солнечной системы. Среди больших планет имеет наименьшие размеры: её диаметр 4865 км (0,38 диаметра Земли), масса $3,304 \times 10^{23} \text{ кг}$ (0,055 массы Земли или 1: 6025000 массы Солнца); средняя плотность $5,52 \text{ г/см}^3$. М. принадлежит к планетам земной группы.
- 18 марта 2012 автоматическая исследовательская станция Messenger (США) успешно завершила первый год работы на орбите вокруг Меркурия. Впервые осуществляются длительные детальные исследования геохимии, геофизики, геологической истории, атмосферы, магнитосферы и плазменной среды самой близкой к Солнцу планеты.

Messenger - второй после Mariner 10 земной аппарат, направленный к Меркурию, - стартовал 3 августа 2004 г, и после более чем шестилетнего перелета, включавшего шесть гравитационных маневров, был выведен на орбиту вокруг планеты назначения 18 марта 2011 г. За первый год работы на орбите аппарат сделал 88746 снимков поверхности Меркурия и получил множество данных, содержащих новую для науки информацию о топографии планеты, структуре ее коры и - самое интересное - о постоянно затененных околополярных участках поверхности.



Меркурий



В ходе измерений гравитационного поля Меркурия не только были обнаружены гравитационные аномалии, но и выяснилось, что планета в целом обладает неожиданно сложной внутренней структурой.

Меркурианское ядро оказалось просто гигантским - оно простирается примерно до 85% радиуса планеты.

Раньше ученые полагали, что внутренности планеты успели охладиться до такой степени, что ее ядро может быть полностью твердым. Однако небольшие динамические движения, которые удалось уловить с помощью наземных радаров, некоторые параметры гравитационного поля и, наконец, обнаружение магнитного поля планеты свидетельствуют о том, что ядро Меркурия, по крайней мере частично, все еще находится в жидком состоянии.

- «По-видимому, ядро Меркурия не похоже на ядро ни одной из планет земной группы, - говорит Стивен Хаук (Steven A. Hauck II) из Университета Кейз - Вестерн Резерв. - Его структура определенно отличается от структуры земного ядра, где металлическое внешнее жидкое ядро (предположительно состоящее из железо-никелевого сплава) окружает твердое внутреннее. Похоже, что Меркурий имеет твердую силикатную кору и мантию, лежащую на твердом внешнем слое ядра из сульфида железа. Еще глубже лежит жидкий слой, и, наконец, в самом центре, возможно, находится твердое внутреннее ядро».

Меркурий

- Полученные данные позволили сделать общий вывод: поверхность планеты в целом относительно ровная, и разброс высот по ней значительно меньше, чем на Луне или Марсе. По словам Марии Зубер (Maria T. Zuber), автора одной из опубликованных научных статей и со-исследователя проекта Messenger, наиболее характерной особенностью рельефа являются обширные низменности в высоких северных широтах, которые интерпретируются как древние вулканические равнины. В пределах этого низменного региона имеется широкий подъем, сформировавшийся уже после вулканических равнин.
В средних же широтах интересные результаты получились при изучении внутреннего строения гигантского ударного кратера Caloris (иногда его называют Caloris Planitia - Равнина Жары) диаметром 1550 км, одного из самых крупных образований такого рода в Солнечной системе. В совокупности эти детали свидетельствуют о мощной тектонической активности на Меркурии, которая имела место уже после самых ранних этапов его геологической истории.

- **Краткое описание картинки:**

Дата: 27 октября 2011

МЕТ: 228200113

ID фото: 937596

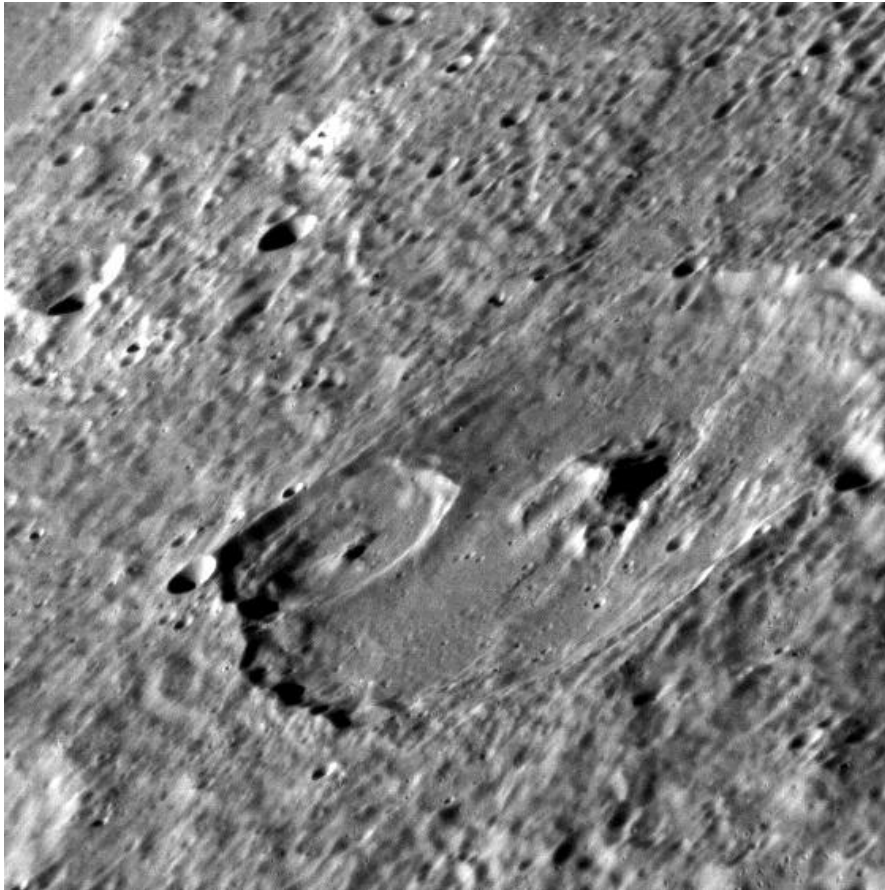
Инструмент: Узкоугольная камера НАС

Координаты центра: Широта 5.65°, Долгота 321.9° E

Разрешение: 104 м/пиксель

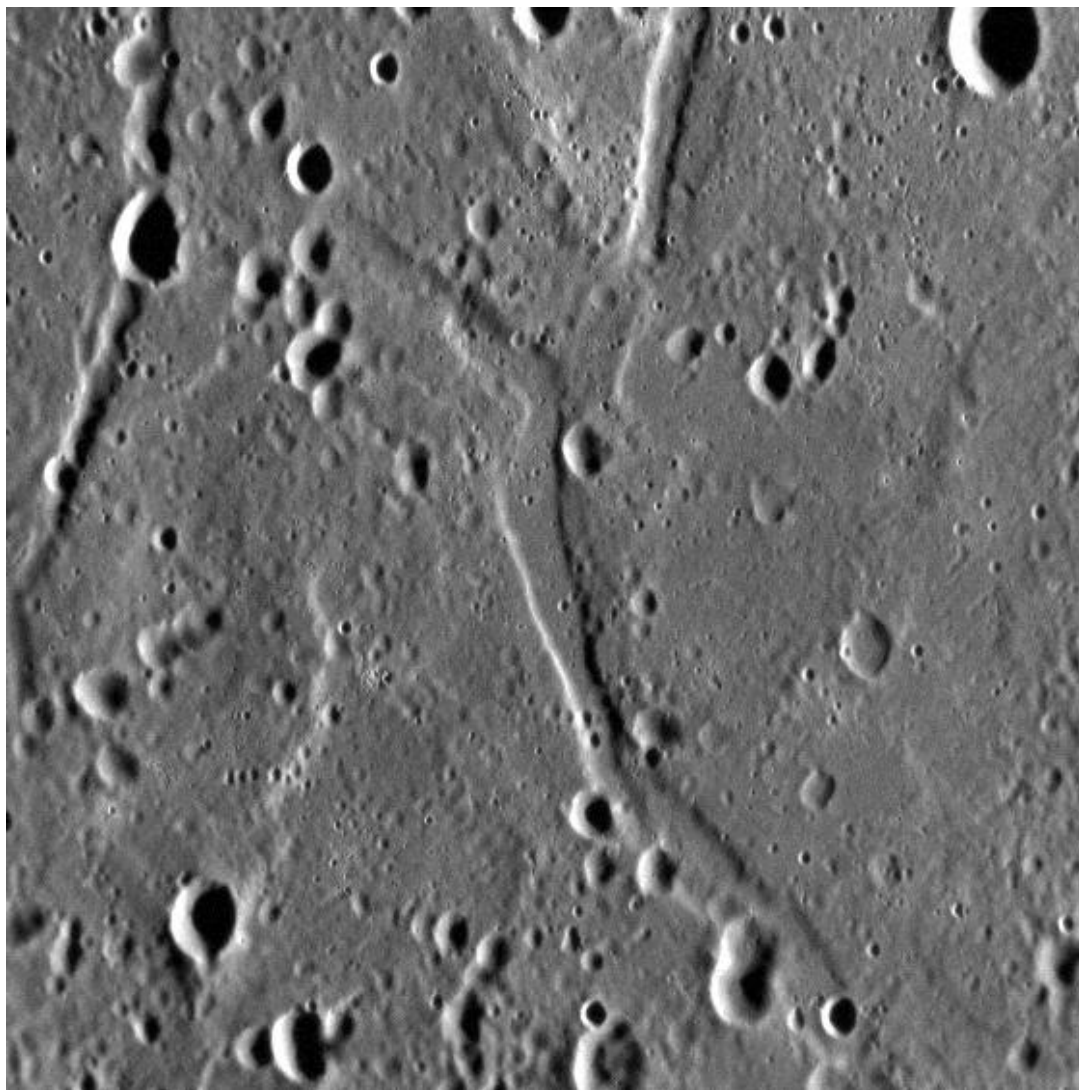
Масштаб: Кратер в центре 90 км в диаметре
Хотя многие из самых красивых кратеров на Меркурии еще молоды и пока еще в окружении светлых лучей, все же подавляющее большинство из них довольно таки древние и уже с течением времени подверглись изменениям под действием внешних и внутренних сил на Меркурии. Такие кратеры деформированы под действием тектонических сил или же от последующих соударений с метеоритами. Большой 90-километровый кратер на этом снимке был когда-то в древности уже изменен уступом, образовавшимся во время охлаждения и сжатия коры Меркурия. Впоследствии часть его вала была уничтожена более молодым его собратом. Этот небольшой молодой кратер 30 км в диаметре. Снимок сделан во время картографирования поверхности планеты. Топографическая карта будет охватывать 90% поверхности планеты со средним разрешением 250 метров на пиксель. Изображения, входящие в топографическую карту, обычно делаются при больших углах освещения Солнцем, для того чтобы было легче выявлять топографию геологических образований на Меркурии.

Опубликовано: NASA/Johns Hopkins University Applied Physics Laboratory/Carnegie Institution of Washington





- **Краткое описание картинки:**
Дата: 21 октября 2011
МЕТ: 227644286
ID фото: 911007
Инструмент: Широкоугольная камера WAC, фильтр 7 (748 нм)
Координаты центра: Широта -1.98° , Долгота 354.1° E
Разрешение: 337 м/пиксель
Масштаб: Кратер в центре 90 км в диаметре
Кратер в центре этого изображения является домом для многочисленных «впадин», которые выделяются здесь своим светлым цветом вблизи центрального пика и вала кратера. Этот 90 километровый и пока еще безымянный кратер был впервые сфотографирован еще во время первого облета Меркурия космическим аппаратом MESSENGER. Снимок сделан во время картографирования поверхности планеты. Топографическая карта будет охватывать 90% поверхности планеты со средним разрешением 250 метров на пиксель. Изображения, входящие в топографическую карту, обычно делаются при больших углах освещения Солнцем, для того чтобы было легче выявлять топографию геологических образований на Меркурии.
Опубликовано: NASA/Johns Hopkins University Applied Physics Laboratory/Carnegie Institution of Washington.



Краткое описание картинки:

Дата: 28 октября 2011

МЕТ: 228325889

ID фото: 943683

Инструмент: Узкоугольная камера NAC

Координаты центра: Широта 26.14°, Долгота 173.1° E

Разрешение: 57 м/пиксель

Масштаб: Изображение охватывает 74 км по ширине

Крупный план дна бассейна Калорис показывает нам пример тектонического провала характерного для этой местности. Провал (или грабен) представляет собой участок коры, опущенный относительно окружающей местности по крутым или вертикальным тектоническим разломам. Снимок сделан во время картографирования поверхности планеты. Топографическая карта будет охватывать 90% поверхности планеты со средним разрешением 250 метров на пиксель.

Изображения, входящие в топографическую карту, обычно делаются при больших углах освещения Солнцем, для того чтобы было легче выявлять топографию геологических образований на Меркурии.

Опубликовано: NASA/Johns Hopkins University Applied Physics Laboratory/Carnegie Institution of

На этом континенте существует сложная система огромных каньонов тектонического происхождения. Их длина иногда достигает сотни километров, глубина 2-4 км, ширина до 280 км.