

МОРФОЛОГИЯ ПОВЕРХНОСТИ ПЛАНЕТЫ ВЕНЕРА

Н. Н. КОРОНОВСКИЙ

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова

MORPHOLOGY OF VENUS SURFACE

N. N. KORONOVSKY

Morphology of Venus surface based on analysis of radar images from Soviet and American space crafts is observed. Ancient formations, different tessera types and large lava flows are described.

Рассматривается морфология поверхности планеты Венера на основании анализа радарных снимков, полученных с советских и американских космических аппаратов. Описаны древнейшие образования – тессеры – разного типа и обширные лавовые поля.

ВВЕДЕНИЕ

Планета Венера относится к планетам земной группы и располагается между Меркурием и Землей. Размеры, масса и плотность Венеры чрезвычайно близки к таким же параметрам Земли, поэтому изучение Венеры может пролить свет на некоторые еще плохо известные моменты истории нашей планеты. Венера вращается в противоположную сторону по сравнению со всеми другими планетами, она покрыта мощной углекислой атмосферой и плотным слоем облаков, состоящих из капелек серной кислоты. Давление атмосферы у поверхности Венеры составляет почти 100 кг/см², что в 100 раз больше, чем на Земле, а температура достигает почти +500°С. Ввиду таких условий поверхность Венеры может быть исследована только методом радиолокации, поэтому всю информацию мы получаем из радарных изображений.

Космические исследования Венеры начались в 1961 г. с полета советской АМС “Венера-1”, пролетевшей в 100 тыс. км от планеты. После этого были полеты еще нескольких “Венер” и американских “Маринеров”. В 1970 г. космический аппарат (КА) “Венера-7” впервые совершил на планету мягкую посадку, а в 1975 г. с КА “Венера-9” и “Венера-10” были получены панорамные изображения поверхности Венеры. В 1978 г. был запущен американский проект “Пионер–Венера”, результатом которого стала топографическая карта, созданная на основе радарной съемки. С октября 1983 г. КА “Венера-15” и “Венера-16” начали радиолокационную съемку в масштабе 1 : 5 000 000, в результате которой было заснято все северное полушарие Венеры до широты в 30°. В 1990 г. США запустили КА “Магеллан”, с которого было заснято 97% территории Венеры, а разрешение снимков на местности составляло 100–200 м, что намного выше, чем при съемках с КА “Венера-15, -16”. Результаты анализа изображений, полученных с советских КА “Венера-15, -16” и американского “Магеллан” были основными, позволившими впервые не только создать карту рельефа Венеры, но и выделить основные типы структур, установив их морфологию, взаимоотношения между собой, в том числе и возрастные, и высказать идеи о возможном их происхождении

journal.issep.rssi.ru

[1]. Дискуссии о генезисе структур поверхности Венеры будут продолжаться еще долгие годы.

ГЛАВНЫЕ МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ ТИПЫ РЕЛЬЕФА ВЕНЕРЫ

Первая морфологическая карта части поверхности, составленная по материалам радарной съемки с КА “Венера-15, -16”, была опубликована в 1986 г. [2, 3]. Дальнейшие исследования подтвердили ее достоверность, внося лишь дополнения. Миссия КА “Магеллан” позволила получить радарное изображение всей поверхности Венеры, а также дать характеристику расчлененности рельефа. Кроме того, была получена большая информация по радиофизическим свойствам рельефа, важная для интерпретации радарных снимков поверхности.

Поверхность Венеры состоит из двух основных типов рельефа: *равнин*, занимающих преобладающую площадь, и *возвышенностей*, доля которых не превышает 15% (рис. 1). На этом радарном изображении поверхности Венеры равнины показаны в голубоватых тонах, а возвышенности – в светло-коричневых. Дело в том, что поверхность тессеры неровная, расчлененная, обладающая многочисленными плоскостями и гранями, отражающими радиоволны назад к источнику как

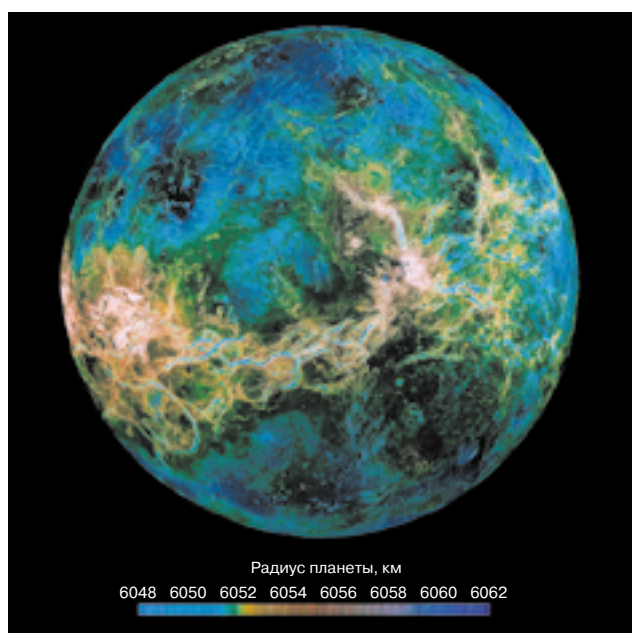


Рис. 1. Общий вид Венеры. Составлен из различных радарных снимков. Коричневые оттенки характеризуют возвышенные участки, преимущественно тессеры; синие и зеленые – пониженные участки рельефа, занятые лавовыми полями. Снимок НАСА

бы зеркально. Это обуславливает повышенную радарную яркость тессеры. Взаимотношение возвышенных и равнинных участков в первом приближении однозначно свидетельствует о более молодом возрасте равнин, сложенных обширными покровами базальтовых лав, напоминающих земные, обладающих пониженной вязкостью и как следствие растекающихся на большие расстояния.

Возвышенные участки местности обладают разной морфологией, разными высотами и разным происхождением. Рассмотрим возвышенные типы местности более подробно.

Тессеры. Одним из наиболее интересных типов рельефа поверхности Венеры является тессера, занимающая примерно 8,3% поверхности, или 36 млн км² [2] (рис. 2). Тессера (от греч. – черепица) представляет собой обширные пространства расчлененного рельефа, весьма четко выделяющегося на фоне всех остальных типов. Тессерные массивы группируются в четыре комплекса: Земля Афродиты, Земля Иштар, область Феба-Беты и Земля Лада. Размеры тессерных массивов составляют первые тысячи километров, что сравнимо с крупными горными районами Земли, например в Центральной Азии. Кроме крупных основных массивов тессеры существуют и небольшие ее участки, как бы острова в море базальтовых равнин, обладающих, как правило, темным радиоизображением. Размеры и площадь тессер сильно колеблются, но в среднем составляют не менее 60 тыс. км².

Главной морфологической чертой тессер является сочетание различных по форме и размерам гряд, сильно различающихся по своим очертаниям и протяженности (рис. 3). Гряды могут быть линейными и протяженными длиной до многих сотен километров. А могут

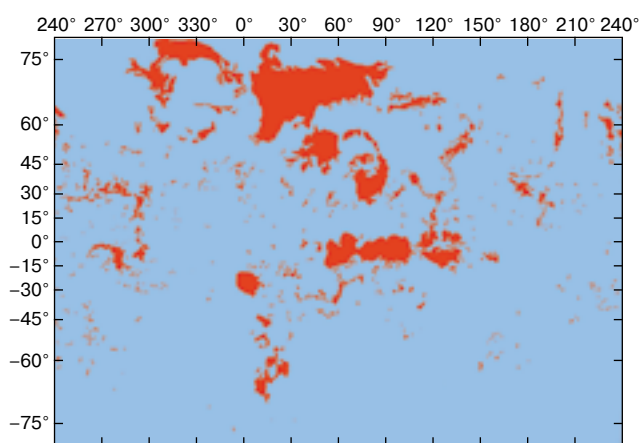


Рис. 2. Схема распределения тессер (красный цвет) на поверхности Венеры (по М.А. Иванову, 1998)

быть и острыми или, наоборот, закругленными, иногда и с плоской вершинной поверхностью, ограниченной вертикальными уступами, что напоминает сочетание ленточных грабен и горстов в земных условиях (рис. 3, 2 и 3). Само расположение гряд может быть линейным, когда гряды параллельны друг другу или размещаются кулисообразно (рис. 3, 4), либо они изгибаются, образуя петли (рис. 3, 1).

Нередко гряды напоминают сморщенную пленку застывшего киселя или канатные лавы базальтов Гавайских островов. Иногда гряды изгибаются наподобие шевронных складок, обладающих коленообразной формой. Высоты гряд составляют от 1,0–1,5 до 2 км, а уступов, ограничивающих грабены, – до 1 км (рис. 3, 2). Борты грабен нередко обладают ступенчатостью, напоминая земные ступенчатые грабены, например в Восточно-Африканской рифтовой системе.

Один из довольно распространенных структурных рисунков тессеры характеризуется наличием напоминающих панцирь черепахи ромбов или прямоугольников, возвышающихся над пониженными участками, (рис. 3, 1). Эти понижения тем не менее всегда располагаются выше уровня равнин, обрамляющих тессеру. Тессеры такого типа часто пересекаются параллельными тонкими линиями: раздвигами, трещинами или грабенами. Местами можно наблюдать ортогональную структуру тессеры, образованную взаимно пересекаю-

щимися грядками и грабенами, что заставляет предполагать различные напряженные состояния в коре – от сжатия до растяжения.

Линейные гряды и пояса гряд развиты в пределах равнинных участков и образуют протяженные (до 2000 км и более) системы валообразных узких поднятий или гряд, группирующихся в пояса шириной в первые сотни километров. Ширина отдельной гряды или вала составляет километры, редко до 10 км, а на равнинах их ширина сокращается до 1 км. Светлые извилистые гряды на фоне более темного радиоизображения равнин представляют собой наиболее характерный рисунок поверхности Венеры и занимают около 70% ее площади [1]. Размеры и типы гряд изменяются от района к району, но в целом уверенно опознаются различными исследователями.

Еще одним типичным структурным рисунком поверхности Венеры являются **венцы или короны** с трещинами, рельеф которых немного выше рельефа темных равнин (рис. 4). Венцы представляют собой структуры с концентрическим строением, осложненным радиальными трещинами. Кольцевое обрамление у венцов обычно неполное. Хорошо выраженными бывают несколько секторов, а в других оно может отсутствовать. Местами можно наблюдать, что кольцевые гряды являются как бы продолжением линейных или извилистых гряд, и это может свидетельствовать об одновременности их формирования.

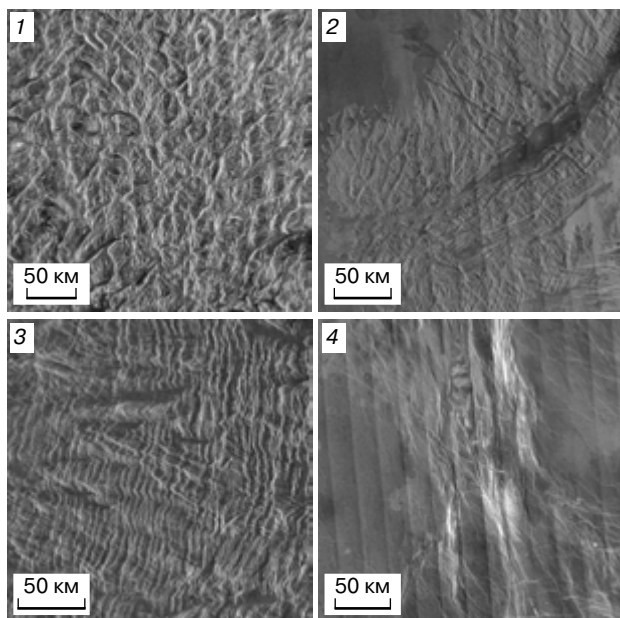


Рис. 3. Характерные типы структурных рисунков тессеры: 1 – петельчатая структура, 2 – ортогональная структура, 3 – ленточные грабены, 4 – линейные гряды. Снимок КА “Магеллан”. НАСА

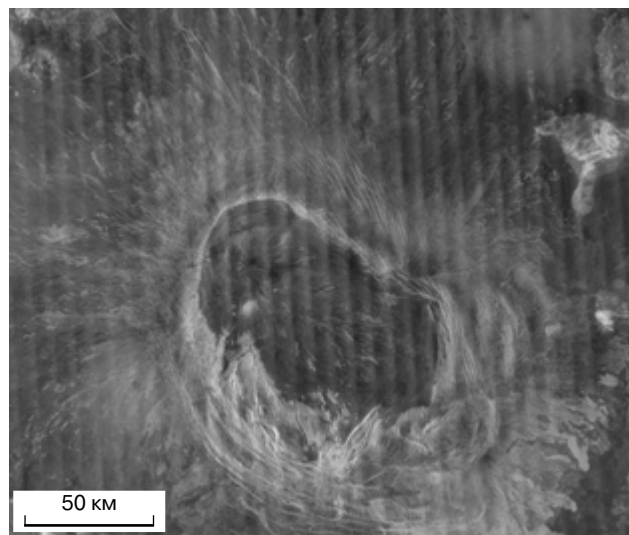


Рис. 4. Структура типа венцов или короны. Видны также пояса трещин (белые линии). Снимок КА “Магеллан”. НАСА. Полосчатость снимка связана с тем, что он “склеен” из нескольких изображений

Трещины разной длины и ширины, образующие пояса, очень широко распространены на поверхности Венеры и могут быть связаны с другими структурными формами рельефа, например с каньонами, которые напоминают земные континентальные рифты. Трещины нередко группируются в пояса, обладают примерно одинаковой шириной и тесно сближены между собой, проявляясь в виде светлых тонких линий в радарном изображении. В некоторых случаях наблюдается почти ортогональный рисунок взаимно пересекающихся трещин.

Еще одним распространенным типом местности являются **кратеры с темными параблами**, причем основную площадь занимают именно темные в радиоизображении параболы, общая площадь которых составляет почти 6% всей поверхности Венеры. Темный цвет парабол связан с тем, что сложены они покровом мелкообломочного материала мощностью до 1–2 м, образованным за счет выбросов из ударных кратеров. Возможна также переработка этого материала золовыми процессами, так как на Венере установлены участки полосовидного золотого рельефа протяженностью в сотни километров.

Описанные выше типы рельефа поверхности Венеры развиты на фоне в целом темных в радиоизображении равнинных участков, уровень рельефа которых ниже, чем все перечисленные выше.

Встречаются **гладкие и лопастные равнины**, занимающие до 10% поверхности Венеры. На первых нет гряд и трещин, и вся поверхность обладает однородным по интенсивности радарным отражением. Для вторых типичны языковидные выступы, как бы лопасти, различающиеся по радиояркости, которые могут быть интерпретированы как обширные лавовые покровы маловязких базальтов.

Возрастная последовательность и вещественный состав комплексов, слагающих различные типы рельефа, в настоящее время являются предметом дискуссии, и сейчас определена лишь их некоторая генеральная последовательность [1, 5]. Практически все исследователи единодушны в том, что наиболее древним комплексом являются горные породы, слагающие тессеру, которая перекрывается всеми остальными, по-видимому, более молодыми комплексами пород. Во многих местах впечатляют контакты тессеры и лавовых равнин, которые как бы затапливают все понижения в тессере, проникая далеко в глубь массива. Тессерные участки сильно деформированы, возможно, в несколько или по крайней мере в два этапа, так как наблюдаются две основные структурные формы: валы и гряды, с одной стороны, грабены и трещины – с другой. Внешний рисунок структуры тессеры по земным меркам должен свидетельствовать о большой пластичности по-

род, хотя бы на первом этапе. Но каков состав пород тессеры, пока остается неизвестным.

Более молодым является материал, который образует темные равнины с густыми трещинами и венцами (коронами), перекрываемыми другими, более молодыми комплексами, накладывающимися на тессеры. Равнины, скорее всего, сложены покровами и потоками базальтовых лав, после своего образования подвергшихся растяжению с формированием поясов и полей сравнительно тонких трещин. В некоторых местах наблюдается переход поясов трещин на материал тессеры.

Дальше следуют комплексы равнин с трещинами и грядами, равнин с извилистыми грядами, гладких и лопастных равнин и комплекс кратеров с темными параблами.

Как мы видим, преобладают комплексы горных пород, слагающих равнинные участки Венеры. Состав этих пород сейчас определяется как базальтовый. Судя по огромным, сравнительно ровным пространствам, занятым этими базальтовыми покровами, лавы отличались очень малой вязкостью, иначе они бы не растекались так широко.

Распределение упомянутых выше комплексов по возрасту в настоящее время неоднозначно, так как остается неясным, повсеместно ли выделенные комплексы имеют один и тот же возраст, или в каждом конкретном районе существует своя возрастная последовательность. Установить истину сейчас еще не представляется возможным, так как нет правдоподобного сценария развития коры и мантии Венеры во времени.

Важными для установления возрастных соотношений комплексов на Венере являются количество и распределение на площади ударных кратеров. Всего на поверхности Венеры, по данным Г.Г. Шабера, Р.Г. Строма, Д.Д. Даусона, Х.Дж. Моора (см. [1]), обнаружен 931 ударный кратер с диаметром более 0,5 км, так как разрешение на радарных снимках не позволяет выделять более мелкие. Обнаружено сходство всех кратеров с таковыми и на других планетах: они обладают либо центральной горкой, либо одним или несколькими кольцами, либо имеют многокольцевую структуру, как, например, самый большой кратер Мид диаметром 275 км. Важно отметить, что почти все кратеры Венеры хорошо сохранились и не переработаны какими-либо экзогенными процессами. Местами наблюдается лишь затопление некоторых кратеров лавами или пересечение их трещинами.

Многие исследователи полагают, что формирование поверхности Венеры произошло между 500 и 300 млн лет тому назад. Эта цифра не противоречит и характеру неизменных ударных кратеров, имеющих случайное распределение на поверхности. Средняя плотность

кратеров на Венере оказывается почти одинаковой на разных типах местности, а следовательно, и на различных возрастных комплексах. Только относительно более молодые лавовые гладкие и лопастные равнины содержат ударных кратеров на 35% меньше, чем на других типах местности. Анализ распределения ударных кратеров дал возможность А.Т. Базилевскому и Дж. Хэду [1, 4] предположить возраст тессер наиболее древним, старше 500 млн лет; возраст комплекса равнин 500–300 млн лет; возраст комплекса гладких и лопастных равнин от 300 до 50–30 млн лет, то есть он растянут во времени, темные в радарном изображении выбросы из кратеров моложе 30 млн лет, так же как и лавы вулкана Маат. Такая стратиграфия известных комплексов горных пород Венеры, выделенных на основании типов рельефа, является, конечно, предварительной, но другой пока нет.

Историю формирования поверхностных структур Венеры в настоящее время можно изложить лишь в самой общей предварительной форме. Тем не менее российским и зарубежным исследователям удалось наметить некоторый общий сценарий. Следует отметить, что Венера, как и Земля, обладает также оболочечным строением. У Венеры есть кора мощностью около 30 км, мантия и, очевидно, ядро. Модели ее строения предполагают наличие частично расплавленных пород на глубинах от 250 до 500 км и достаточно твердой нижней мантии. Магнитное поле Венеры очень слабое или его нет вообще. Возможно, это связано с очень медленным вращением Венеры вокруг своей оси, а может быть, и с отсутствием такого внешнего ядра, как на Земле, обладающего свойством жидкости. Первичная кора Венеры, скорее всего, базальтового, хотя, не исключено, местами и более разнообразного состава вплоть до гранитоидов, более 500 млн лет тому назад подверглась интенсивной деформации, сформировав тессеры, которые сейчас распространены на поверхности планеты в виде отдельных пятен – материков и островов. Что было причиной такой сильной деформации, сказать трудно, но все исследователи предполагают взламывание коры, возможно тогда более пластичной, восходящими конвективными струями, или плюмами, в мантии Венеры, что вызвало напряжения сжатия и растяжения и образование характерной структуры тессер.

В дальнейшем начались грандиозные излияния базальтовых лав из сохранявшей свой первичный состав верхней мантии, о чем свидетельствует повышенное содержание в этих породах К, U и Th. Излияния базальтов происходили неоднократно, а в периоды затишья вулканической деятельности лавовые равнины подвергались растяжению за счет охлаждения, и тогда формировались пояса трещин и гряд. Таким образом,

данный этап формирования поверхности Венеры характеризовался огромным выделением тепла, мощнейшими излияниями лав и деформацией наиболее древних комплексов – первичной коры. Временной интервал был сравнительно коротким – между 500 и 300 млн лет.

В дальнейшем подобной мощной эндогенной активности не было, хотя формировались отдельные вулканы и лавовые потоки базальтов, связанные с рифтами и грабенами, образующими протяженные пояса на Венере (рис. 5). Внутренние процессы как бы затихли, возможно, за счет истощения тепла. А экзогенные процессы на поверхности планеты были за последние 500 млн лет очень слабыми, о чем свидетельствуют неизмененные ударные кратеры. Современная вулканическая активность Венеры пока не доказана.

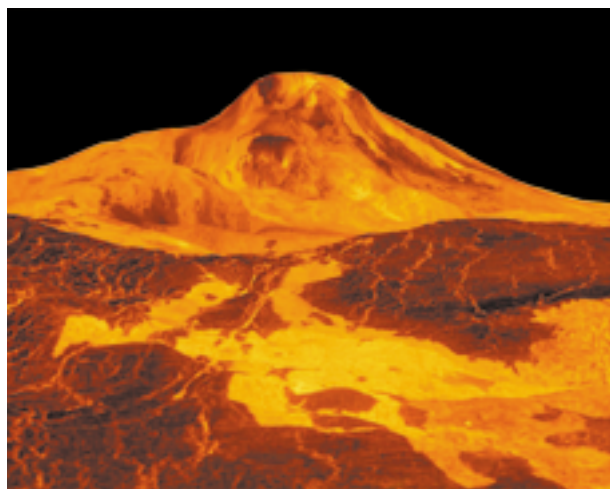


Рис. 5. Вулкан Маат на поверхности Венеры. Компьютерное моделирование с использованием радарных снимков и данных альтиметрии. Снимок НАСА

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Благодаря исследованию Венеры – сестры Земли по многим параметрам – с различных КА, но в первую очередь с КА “Венера-15”, “Венера-16” и “Магеллан”, составлена полная (98%) карта поверхности Венеры в радарном изображении, что позволило выделить разнообразные типы местности, установить их структуру, примерные возрастные соотношения и наметить в общем виде историю развития за последние 0,5 млрд лет. Что было до этого, то есть на протяжении 4,0 млрд лет, остается неизвестным.

Те структурные формы, которые наблюдаются на Венере, в большинстве своем неизвестны на Земле, кроме рифтов и лавовых потоков. Вполне возможно, что местности типа тессер и лавовых равнин существовали

и на Земле, но в раннеархейское время, то есть в интервале 4,0–3,0 млрд лет назад, когда земная кора еще только формировалась, была тонкой, а под ней находилась расплавленная или сильно разогретая мантия. Современные знания о Венере — это огромный прорыв в науке о планетах.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Базилевский А.Т., Хэд Дж.У.* Геологическая история Венеры за последние 300–500 млн лет по данным фотогеологического анализа радарных изображений, полученных КА “Магеллан” // *Астрон. вестн.* 1995. Т. 29, № 3. С. 195–218.
2. *Барсуков В.Л., Суханов А.Л., Аким Э.Л. и др.* Геолого-геоморфологическая характеристика северного полушария Венеры // *Геотектоника.* 1986. № 4. С. 4–25.
3. *Иванов М.А., Базилевский А.Т.* Возрастные соотношения тессер и равнин на Венере по данным КА “Магеллан” // *Астрон. вестн.* 1994. Т. 28, № 3. С. 40–58.

4. *Иванов М.А., Хэд Дж.У.* Тессеры на Венере: Обзор глобального распределения, характеристик и соотношения с другими типами местности по данным КА “Магеллан” // Там же. 1995. Т. 29, № 3. С. 218–242.

5. *Ivanov M.A., Head J.W.* Stratigraphical Constrains on the Duration of Tessera Formation: Preliminary Results of the Regional Mapping of Venus // *Vernadsky–Brown Microsymposium 24.* Moscow, 1996. P. 32–33.

Рецензент статьи М.Г. Ломизе

* * *

Николай Николаевич Короновский, аспирант геологического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова. Автор двух статей и тезисов докладов на международных конференциях. Трижды удостоивался звания “Соросовский студент” и один раз “Соросовский аспирант”. Работает над изучением поверхности Венеры по радарным изображениям.