ИССЛЕДОВАНИЕ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО СТРОЕНИЯ И ИСТОРИИ ПЛАНЕТЫ ВЕНЕРА ПУТЕМ СОСТАВЛЕНИЯ ГЛОБАЛЬНОЙ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ КАРТЫ

А. Т. Базилевский, Г. А. Бурба, Н. Н. Бобина,
В. П. Шашкина, М. А. Иванов, В. П. Крючков, А. А. Пронин
Институт геохимии и аналитической химии им. В. И. Вернадского Российской академии наук, Москва, Россия;
И. В. Шалимов, Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова, Москва, Россия
Дж. У. Хэд, Браунский университет, Провиденс, Род-Айленд, США

STUDIES OF THE GEOLOGIC STRUCTURE AND HISTORY OF THE PLANET VENUS THROUGH THE GLOBAL GEOLOGIC MAPPING

A. T. Basilevsky, G. A. Burba, N. N. Bobina,
V.P. Shashkina, M.A. Ivanov, V.P. Kryuchkov, A. A. Pronin
Vernadsky Institute of Geochemistry and Analytical Chemistry, Russia's Academy of Sciences, Moscow, Russia;
I. V. Shalimov, Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia;
J. W. Head, Brown University, Providence, Rhode Island, USA

Summary. The geologic mapping of the planet Venus is under development with the joint project of Vernadsky Institute and Brown University since 1995. This project on the Venus global geologic mapping (VENGLOBGEK) is aimed to produce the geologic map covering the whole planet Venus at 1:10,000,000 scale. The map consists of 28 sheets.

Continuous map of the northern part of Venus (north of 35°N) has been made. The maps of the six sectors of this area were connected together. These maps have existed as paper maps. They were scanned and united into the single map with the computer technique. Now there are 6 original hand-drawn and colored paper maps of the area at 1:8,750,000 scale and an electronic version of the whole area map (Basilevsky et al., 2001). The electronic version includes geologic boundaries, color coding of the stratigraphic units, letter indexes of the units, and the cartographic grid of latitudes and longitudes. Computer techniques provide the opportunity to involve either all or selected types of the twelve geologic stratigraphic units, shown on the map, into different combinations for the analysis of the geologic structure and history of Venus.

The cartographic sources for the geologic map of Venus are side-looking radar images, obtained from Magellan and Venera 15, 16 orbiters. The image resolution is from 1.8 km up to 75 m per pixel. Twelve geologic units in the map's legend represent a stratigraphic series from older to younger units. The mapping has shown consistency of the geologic units sequence all over the mapped territory of 98.1×10^6 km^2 or 21% of the surface of Venus. Such area is equal to the areas of Asia, Africa, and Northern America taken together (or is slightly more than the area of the Atlantic Ocean).

The detailed description of the mapping procedure and the geologic analyses of the map is published with numerous illustrations, including radar images and small maps of each stratigraphic unit (Basilevsky et al., 2000).

Общие сведения о проекте. Создание многолистной обзорной геологической карты в масштабе 1:10 000 000 (в 1 см – 100 км), охватывающей всю территорию планеты Венера, является целью проекта ВЕНГЛОБГЕК (Венера. Глобальная геологическая карта). Это совместный проект, выполняемый Институтом ГЕОХИ и Браунским университетом с 1995 г. Геологическое строение всей поверхности Венеры будет отображено в единой легенде. За основу легенды принята стратиграфическая шкала, разработанная для Венеры Базилевским и Хэдом (1995). В результате должна быть получена единая геологическая карта на территорию в 460 млн. кв. км, что втрое превышает площадь суши на Земле.

Математическая основа карты.

Карта многолистная, состоящая из 28 листов. Выбор картографических проекций выполнен с расчетом на обеспечение минимальных искажений, как длин линий, так и величин углов в пределах каждого листа карты. Для полярных областей (35 – 90° широты) взята полярная азимутальная проекция, а для приэкваториальных областей (40° с.ш. – 40° ю.ш.) – нормальная цилиндрическая. Обе проекции – равнопромежуточные по меридиану,

т.е. длина 1° вдоль меридиана постоянна. Она одинакова для обеих проекций и соответствует главному масштабу карты. Этот масштаб сохраняется и вдоль экватора.

Масштаб карты выбран с расчетом как настольного, так и настенного использования карты. Вариации масштаба в пределах листов подобраны таким образом, чтобы обеспечить примерно одинаковый масштаб в переходной полосе перекрытия полярных и экваториальных листов карты (от 35 до 40° широты).

Листы карты расположены в виде четырех широтных поясов. Два полярных пояса находятся между полюсами планеты и параллелями 35° широты, в каждом из них – по шесть листов. Северный и южный приэкваториальные пояса расположены между экватором и соответствующей широтой 40°, в каждом из этих поясов – по восемь листов. При этом получается полоса перекрытия шириной в 5° (525 км) от 35 до 40° широты, что обеспечивает визуальную постепенность перехода от изображения в цилиндрической проекции к изображению в полярной проекции.

Листы полярных поясов имеют треугольные очертания, представляя собой сектора единого круга с размером по долготе в 60°. Граничные меридианы этих листов: 20, 80, 140, 200, 260 и 320° в.д. Такой выбор основан на астрономическом значении меридиана 320° в.д., который является центральным меридианом полушария, обращенного к Земле при нижнем соединении, когда Венера находится на одной прямой с Землей и Солнцем, будучи между ними. Листы экваториальных поясов прямоугольные и имеют размер по долготе в 45°. Разграфка в этих поясах также ведется от меридиана 320° в.д. Площадь одного полярного листа 16,35 млн. кв. км (3,35% поверхности Венеры), а экваториального – 16,48 млн. кв. км (3,74%). Для сравнения напомним, что площадь России – 17,1 млн. кв. км.

Вид картографических сеток в выбранных проекциях дает возможность легко получить единое изображение обширной области планеты просто путем приложения краев соседних листов: шесть полярных листов могут быть соединены вместе, образовав единый круг, а сложив 16 экваториальных листов можно получить непрерывное изображение для всего пояса от 40° с.ш. до 40° ю.ш. Для представления карты в уменьшенном виде предусмотрено и иное деление на листы, связанное с разграфкой исходной карты масштаба 1:10 000 000. Шесть полярных листов можно объединить в один, а из 16 экваториальных листов образовать четыре листа с размером 90° по долготе и 80° по широте. Таким образом, карта может быть представлена на шести листах – двух круглых полярных (от 35° широты до полюса) и четырех прямоугольных экваториальных (от 40° с.ш. до 40° ю.ш.).

Специфика геологического картографирования Венеры.

Сильное рассеяние света в плотной атмосфере Венеры и наличие сплошного облачного слоя делают невозможным наблюдение ее поверхности в оптическом диапазоне. Поэтому единственно возможный способ получения исходных материалов для составления карт поверхности Венеры – это радиолокационная (радарная) съемка. В режиме бокового обзора она дает изображения, мало отличающиеся от привычных геологам фото- или теле изображений поверхности. Анализ черно-белых радарных снимков – это главный способ изучения геологического строения Венеры. Важным дополнением к нему служит информация о высотах поверхности, получаемая либо с помощью радиовысотомера, либо при анализе радарных стереоизображений. Сами же принципы выделения геологических подразделений на Венере и подходы к изучению возрастных взаимоотношений между ними точно такие же, как и при изучении других планет и спутников (см., например, Wilhelms, 1990).

Картографические источники.

Основным материалом для составления карты служат радарные фотокарты форматов C1-MIDRP, F-MIDRP и FMAP (225, 75 и 75 м/эл. изобр. соответственно), составленные из снимков, полученных для 97% поверхности Венеры со станции «Магеллан» в 1990-92 гг. Дополнительным материалом служат радарные фотокарты с разрешением 1-2 км/эл. изобр. по данным съемок 1983-84 гг. со станций «Венера 15, 16» (Атлас ..., 1989; Фотокарта ..., 1986-1987), покрывающие 25% планеты, ее северную четверть – от 30 до 90° с.ш., и геолого-геоморфологическая карта части северного полушария Венеры, также составленная по съемкам со станций «Венера 15 и 16» (Sukhanov et al., 1989). Они используются для заполнения пробелов в покрытии поверхности снимками с «Магеллана». Привлекаются и данные о высотах поверхности, полученные радиовысотомерами со станций «Магеллан», «Венера 15, 16» и «Пионер-Венера».

Состояние работ.

К настоящему времени составлены 6 листов на всю северную область Венеры и 4 листа на 2/3 южной области (табл. 1). Эти 10 листов покрывают 35% поверхности Венеры – 163,5 млн. кв. км, что равно 110% площади суши на Земле. Ведется составление листов на остальную часть Южной Венеры.

Таблица 1

Покрытие поверхности Венеры геологической картой масштаба 1:10 000 000 (текущее состояние)

Область планеты	Охват территории		Кол-во листов	Площадь	
	по широте	по долготе		*млн. кв. км*	*%* **
Северная	35 – 90° с.ш.	0 – 360° в.д.	6	**98,1**	21
Южная	35 – 84° ю.ш.*	20 – 260° в.д.	4	**65,4**	14
	Всего:	10	**163,5**	35	

Примечания: * *Территория южнее 84° ю.ш. не заснята.* ** *От всей поверхности Венеры.*

Для Северной Венеры – от параллели 35° с.ш. до северного полюса – сделана также сводная геологическая карта всей области в электронном виде (Basilevsky et al., 2001). Площадь, охваченная этой картой – 98,1 млн. кв. км (21% Венеры), что равно суммарной площади Азии, Африки и Северной Америки (или чуть больше площади Атлантического океана).

Далее приводится описание сводной геологической карты Северной Венеры, и рассматриваются вопросы, связанные с ее составлением и анализом, а в заключительной части кратко рассмотрены результаты по южной области Венеры, составление карт на которую еще не завершено.

Описание карты.

Обзорная геологическая карта северной части Венеры масштаба 1:10 000 000 представляет собой круг диаметром 116,2 см. В центре карты – северный полюс Венеры; внешняя граница карты – параллель 35° с.ш. Карта получена путем объединения и согласования шести секторальных листов, составленных различными авторами. Эти листы сначала были выполнены в традиционном виде на бумаге, а затем были отсканированы и соединены в единое изображение с помощью компьютерных методов. Сейчас имеются карты шести этих секторов в виде оригиналов на бумаге, вычерченных и раскрашенных вручную (в масштабе 1:8 750 000), а также цифровой вариант всей карты целиком. Последний содержит геологические границы, цветную раскраску по геологическим подразделениям, линейные образования (тектонические структуры и лавовые русла), буквенные индексы стратиграфических подразделений и сетку параллелей и меридианов. Цифровой вариант дает возможность выводить на экран и распечатывать различные сочетания стратиграфических подразделений и структур.

Принципы построения легенды.

В результате фотогеологического анализа снимков в области Северной Венеры (35 – 90° с.ш.) выделено и нанесено на карту 12 геологических подразделений. Десять из них (материалы тессер, горных поясов и восьми разновидностей равнин) составляют возрастную последовательность, иногда частично или полностью перекрываясь по шкале времени. Одно подразделение – материал ударных кратеров – сквозное по времени, включающее как древние, так и молодые кратеры. Еще одно подразделение (материал поясов борозд) является тектоническим и в стратиграфическую последовательность не входит. Выделение большинства подразделений основано на модели глобальной стратиграфии Венеры Базилевского и Хэда (1995). В ходе работ по составлению карты эта модель проверялась и уточнялась, в нее вводились новые подразделения.

Цветовое оформление.

Принципы цветового оформления геологической карты Венеры разработаны авторами по аналогии с таковыми для геологических (стратиграфических) карт Земли. Использована та же, хорошо известная последовательность цветов от более древних к более молодым подразделениям. Так, для наиболее древнего на Венере подразделения Tt использован сиренево-розовый цвет, аналогичный цвету докембрийских образований на геологических картах Земли, для подразделения M – сине-серый (как у кембрийской системы), для Pdf – коричневый (как у девонской), для Pfr – сине-голубой (как у юрской), для двух разновидностей Pwr и близкого к ним по стратиграфическому положению Psh – оттенки зеленого (как у меловой), для Ps – оранжевый (как у палеогеновой), для Pl – желтый (как у неогеновой). Причем для группы древних (старше, чем Pwr) подразделений применяются темные оттенки с приглушенными цветами (ахроматизированные). Граничное по своему стратиграфическому положению и наиболее распространенное по площади подразделение Pwr изображается чистым, но слабо насыщенным цветом. Благодаря этому достигается эффект разделения групп древних и молодых геологических подразделений. Первые (это Tt, M, Pdf и Pfr) выглядят темными «островами» на светлом фоне равнин Pwr. Последние же (это Ps и Pl) показаны чистыми, сильно насыщенными цветами, что выделяет их на фоне карты, создавая впечатление свежих образований. Самое молодое подразделение DM, интерпретируемое как тонкий покров темного тонкозернистого материала, показано крупным черным крапом на фоне цвета подстилающего его подразделения.

Для подразделений с более широкими временными пределами, не входящими в основную стратиграфическую последовательность – ударных кратеров и поясов борозд, использованы особые цвета. Пояса борозд (FB) даны розовым цветом, чтобы создать ассоциацию с тектонической природой данного подразделения (по аналогии с тем, что разломы обычно показывают красным цветом). Для кратеров (C) выбран черный цвет, позволяющий хорошо выделить эти сравнительно малые объекты на цветном фоне карты. Для покрова выбросов (Ce) и «вытеков» из кратеров (Cf) использован белый цвет (во втором случае – с мелким черным крапом). Таким контрастным выделением (черный кратер, окруженный белым полем выбросов) еще больше подчеркнута наложенность кратеров на остальные геологические подразделения, имеющие региональное распространение, их «чужеродность».

Подобное цветовое решение не подразумевает единства или аналогичности стратиграфических шкал Земли и Венеры. Оно лишь позволяет легче воспринимать возрастные соотношения на карте Венеры, имея опыт работы с картами Земли.

Описание подразделений легенды.

Описание дано в порядке убывания возраста – от древних к молодым геологическим подразделениям. Сначала идет последовательность из 10 основных подразделений, а затем описаны материал кратеров и материал поясов борозд, занимающие в разных районах различное возрастное положение. В табл. 2 приведены сводные

данные о высотном положении геологических подразделений (для территории от 47,5 до 90° с.ш. общей площадью 60,2 млн. кв км). Серым фоном выделены максимальные по высоте подразделения Tt и M, а также резко преобладающее по площади подразделение Pwr_1.

Таблица 2

Средняя высота $H_{ср}$ геологических подразделений над сферой радиусом 6051 км

Подразделение	$H_{ср}$, *км*	Станд. отклонение, *км*	Подразделение	$H_{ср}$, *км*	Станд. отклонение, *км*
DM	**0,36**	± 0,71	Psh	**0,49**	± 0,64
Cu	**0,69**	± 1,42	***FB***	**0,91**	± 1,07
Pl	**1,16**	± 1,06	***Pfr***	**0,79**	± 1,36
Ps	**2,03**	± 1,58	***Pdf***	**0,53**	± 0,83
Pwr_2	**0,18**	± 0,48	***M***	**6,43**	± 2,02
Pwr_1	**0,70**	± 1,14	***Tt***	**1,71**	± 1,45

Вся область: **0,89** ± 1,34

1. *Материал тессер (Tt).* Тип местности, называемый тессерой, был впервые открыт по данным радарной съемки со станций «Венера 15 и 16» (Барсуков и др., 1984, Barsukov et al., 1986). Тессеры состоят из систем пересекающихся гряд и борозд явно тектонического происхождения. Типичное расстояние между гребнями соседних гряд – от 5 до 20 км. Фото тон на радарных снимках – светлый. Области тессер повсеместно возвышаются над окружающей местностью (табл. 2).

2. *Материал горных поясов (M)* – системы субпараллельных гряд и разделяющих их борозд явно тектонической природы, расположенные на высоких (см. табл. 2) горных массивах, вокруг плато Лакшми. Типичное расстояние между гребнями такое же, как на тессерах. Этот материал имеет на радарных снимках наиболее светлый фото тон среди всех остальных геологических подразделений.

3. *Материал изборожденных равнин (Pdf).* Местности этого типа покрыты роями субпараллельных, тесно сближенных узких борозд с расстояниями между бороздами около 1-2 км. Имеет вид небольших островов слегка возвышающихся над подтапливающими их более молодыми равнинами. Фото тон – светлый.

4. *Материал равнин с широкими грядами (Pfr).* Состоит из относительно широких (3-5км) пологосклонных гряд протяженностью в десятки километров. Они образуют пояса, возвышающиеся над подтапливающим их материалом более молодых равнин. Фото тон – серый и светло-серый.

5-6. *Материал равнин с извилистыми грядами (Pwr).* Поверхность этого материала до пределов разрешения снимков выглядит ровной. На ней имеются лишь узкие (1-2 км) извилистые гряды, расположенные иногда кулисообразно, а иногда образующие ячеистую сеть. Расстояния между соседними грядами – от нескольких километров до 30-40 км. На радарных снимках поля Pwr имеют светло-серый, серый и темно-серый фото тон. В каждом конкретном поле он довольно однороден.

Материал Pwr образует вещественный комплекс, занимающий среднее по возрасту положение: из-под него выступают выходы явно более древних подразделений (Tt, Pdf, Pfr), а на него накладываются более молодые подразделения (см. ниже). Он занимает обширные области, поэтому сложенные им равнины нередко называют региональными. Среди них выделяются два основных вида. Преобладают равнины с более темным фото тоном, на фоне которых выделяются протяженные (до нескольких сотен километров и более) пятна более светлого тона. Форма этих пятен не оставляет сомнений в том, что они образованы потоками маловязких лав. Хорошо видны затеки светлого материала в борозды и другие депрессии на поверхности более темного материала, т.е. светлый материал – более молодой. На карте показаны два подразделения: более древний темный материал Pwr_1 (нижнее подразделение) и более молодой светлый материал Pwr_2 (верхнее подразделение). Оба они, судя по морфологии (протяженные потоки на очень пологих уклонах местности), сложены, скорее всего, базальтовыми лавами. На это же указывают и результаты анализов химического состава материала поверхности в местах посадок станций серий «Венера» и «Вега» (Surkov, 1990). Из семи мест посадок в четырех исследовался материал Pwr (Abdrakhimov, 2002), и результаты измерений указывают на мафический состав.

7. *Материал равнин с холмами (Psh).* Равнины, сложенные этим материалом, покрыты многочисленными пологосклонными холмами диаметром от 3 до 15 км, которые представляют собой небольшие щитовые вулканы. Пространство между холмами обычно заполнено потоками лавы, вероятно, изверженными из этих же вулканов. Подразделение Psh обычно наблюдается в виде небольших (десятки – первые сотни километров) полей среди равнин Pwr или по соседству с ними.

8. *Материал гладких равнин (Ps).* Образует гладкие поверхности, лишенные каких-либо деталей. Имеет однородный темный фото тон. Нередко в его пределах видно вулканическое жерло на вершине очень пологосклонного купола. Очевидно, что этот материал образован очень жидкими лавами.

9. *Материал равнин с лопастевидными потоками (Pl).* Участки этого материала состоят из семейств полос, имеющих в плане форму узких языков (в виде лопасти лодочного весла). Ширина полос – от 2-3 км до нескольких десятков километров, а длина – до нескольких сотен километров. Фото тон – светлый, однако некоторые потоки и каймы многих светлых потоков имеют темный фото тон.

10. *Материал радио темных покровов (DM).* В его пределах не различается каких-либо деталей поверхности. Фото тон однородный, очень темный. Границы постепенные. Если в пределах DM есть сильно расчлененные участки, то их поверхность почти не затемнена. Вероятно, покровы материала DM маломощные и не могут скрыть крупные неровности рельефа. Поля этого материала нередко территориально связаны с ударными кратерами и, вероятно, являются осажденной из атмосферы тонкозернистой фракцией кратерных выбросов.

11. *Материал ударных кратеров (Cu).* Объединяет материалы, слагающие собственно кратеры (C) – их склоны, днища и центральные горки, а также выбросы из кратеров (Ce), включая так называемые «вытеки» – outflows (Cf). Выбросы, склоны и центральные горки обычно имеют очень светлый фото тон. Днища – либо светлые, с неровным рельефом, либо темные и гладкие.

12. *Материал поясов борозд (FB).* Слагает протяженные линейные зоны, состоящие из скоплений узких протяженных линейных депрессий – борозд, как субпараллельных, так и пересекающихся. Фото тон – светосерый. Характерная особенность зон FB – присутствие в них борозд-трещин нескольких, как минимум двух, генераций. Более древняя подтапливается материалом равнин Pwr, а более молодая – выходит на эти равнины и сечет их. В последнем случае границы между поясами борозд и равнинами постепенные и проводятся с некоторой условностью.

Геология Северной Венеры.

Из 12 подразделений, представленных на данной карте, 10 образуют возрастную последовательность, которая выдерживается по всей северной области Венеры. То, что геологическое строение столь обширной территории, 1/5 поверхности планеты, удалось представить на карте, используя всего 12 геологических подразделений, говорит об однообразии типов местности и форм рельефа на всей этой территории. Лишь горные пояса, обрамляющие плато Лакшми, представляют собой нечто, не повторяющееся в других местах данной карты, да и на Венере в целом. Остальные подразделения, обнаруживая некоторые вариации в морфологии, тем не менее, достаточно однообразны, что говорит об однообразии геологических процессов в разных районах Северной Венеры.

Показанные на карте подразделения представляют собой продукты четырех основных групп геологических процессов, действовавших на Венере в течение последних 0,5-1 млрд. лет: 1) базальтового вулканизма; 2) тектонических деформаций сжатия и растяжения; 3) ударного кратерообразования; 4) мобилизации, переноса и отложения рыхлого тонкозернистого материала ветром. Главный процесс поступления нового материала на поверхность Венеры – это базальтовый вулканизм. Для подразделений, мало измененных наложенными процессами, это следует из морфологии их поверхности, а также из результатов геохимических измерений на поверхности планеты с автоматических станций серий «Венера» и «Вега».

Геологическое картографирование северной области Венеры показало, что геологические подразделения, наблюдаемые на поверхности этой части планеты, образуют три структурных этажа. В *нижний*, наиболее деформированный тектоническими структурами, входят вещественные комплексы тессер Tt, горных поясов M, изборожденных равнин Pdf и равнин с широкими грядами Pfr. Породы нижнего этажа образуют фундамент региональных равнин с извилистыми грядами Pwr и равнин с холмами Psh. Породы этих двух комплексов относительно слабо затронутые тектоническими деформациями, образуют *средний* структурный этаж. *Верхний* структурный этаж состоит из локально деформированных комплексов гладких равнин Ps, равнин с лопастевидными потоками Pl и темных покровов DM, накладывающихся на региональные равнины. Породы среднего и верхнего структурных этажей в подавляющей массе представлены базальтовыми лавами. Породы комплекса Pfr – наименее деформированного члена нижнего структурного этажа – очевидно, тоже базальты. Вещественный состав сильно деформированных членов нижнего структурного этажа (комплексы Tt, M, Pdf) не ясен.

Количество кратеров, наложенных на большинство подразделений в пределах карты (табл. 3), слишком мало для того, чтобы дать надежные оценки возраста отдельных геологических подразделений. Лишь для объединенного (Pwr_1 + Pwr_2) подразделения равнин Pwr и для карты в целом количество кратеров достаточно велико, а пределы вероятных ошибок достаточно малы для того, чтобы использовать эти величины при интерпретации возраста поверхности. Оба значения, выделенные фоном в табл. 3, практически совпадают со средним для планеты в целом – 2,01±0,14. Это означает, что средний возраст поверхности равнин Pwr на данной территории близок как к среднему возрасту поверхности всей представленной на карте области, так и к среднему возрасту поверхности Венеры в целом.

Детальное описание геологических подразделений, показанных на данной карте, и подробный анализ геологического строения и истории северной области Венеры опубликованы как на русском (Базилевский и др., 2000), так и на английском языке (Basilevsky et al., 2000) с большим количеством иллюстраций (снимки, карты).

Геология южной области Венеры в сравнении с северной.

Составление листов глобальной геологической карты на 2/3 территории Южной Венеры (35 – 84° ю.ш., 20 – 260° в.д.) показало, что стратиграфическая модель, использовавшаяся при работе над листами на область Северной Венеры, вполне применима и для этого региона планеты. Не обнаружено принципиальных отличий в структуре поверхности и истории геологического развития между северной и южной областями умеренных и полярных широт Венеры (35 – 90° широты). Однако региональные особенности строения существенно отличают одну область от другой. Так, в южной области почти нет тессер, которые в северной области являются вторым по площади геологическим подразделением, занимая 13% территории (табл. 3). На юге, как и на севере, преобладают равнины с извилистыми грядами, но на севере они занимают 53% территории, а на юге – более 70%. В отдельных районах южной области имеется большое количество лавовых русел («долин») протяженностью в сотни и тысячи километров, тогда как в северной области такие образования единичны.

Таблица 3

Ударные кратеры на различных геологических подразделениях (для области 35 – 90° с.ш.)

Структурный этаж	Подразделение	Площадь		Кол-во кратеров, *шт.*	Плотность кратеров, *шт. на* 10^6 *км*$^2 \pm 2\sigma$
		10^6 *км*^{2}	%		
Верхний	*DM*	**2,3**	2,3	4	1,76 ± 1,76
	Pl	**5,85**	6,0	7	1,20 ± 0,90
	Ps	**1,5**	1,5	7	4,67 ± 3,52
Средний	***Pwr***	**52,0**	53,0	106	**2,04** ± 0,39
	Psh	**8,9**	9,1	12	1,34 ± 0,77
Нижний	***FB***	**5,35**	5,5	12	2,22 ± 1,29
	Pfr	**5,1**	5,2	14	2,75 ± 1,47
	Pdf	**4,4**	4,5	17	3,86 ± 1,87
	Tt (+M)	**12,7**	12,9	20	1,57 ± 0,72
В целом		**98,1**	100	199	**2,03** ± 0,29

В целом южная область характеризуется широким развитием региональных равнин Pwr, в ней примерно такое же количество крупных кольцевых структур – венцов, что и в северной области, но почти нет крупных (диаметром 100-300 км) пологосклонных щитовых вулканов, которые нередки на севере. Плотность ударных кратеров в пределах Южной Венеры соответствует средней для планеты величине. Разницы в плотности кратеров между четырьмя листами карты, составленными к настоящему времени (2/3 территории Южной Венеры) практически не наблюдается.

Литература

1. Атлас поверхности Венеры. / Ред. В.А. Котельников. М.: ГУГК. 1989. 328 с.
2. А.Т. Базилевский, Г.А. Бурба, М.А. Иванов и др. Анализ геологического строения и составление геологической карты северной части планеты Венера. // Астрон. вестник. 2000. Т. 34. N 5. С. 387-419.
3. А.Т. Базилевский, Дж.У. Хэд. Геологическая история Венеры за последние 300-500 млн. лет по данным фото геологического анализа радарных изображений, полученных КА «Магеллан». // Астрон. вестник. 1995. Т. 29. № 3. С. 195-218.
4. В.Л. Барсуков, А.Т. Базилевский, Р.О. Кузьмин и др. Геология Венеры по результатам анализа радиолокационных изображений, полученных АМС «Венера-15» и «Венера-16» (предварительные данные). // Геохимия. 1984. № 12. С. 1811-1820.
5. Фотокарта Венеры. Листы 1 – 27. Масштаб 1:5 000 000. / Ред. Ю.С. Тюфлин. М.: ГУГК. 1986-1987.
6. A.M. Abdrakhimov. Geologic mapping of "Venera" and "Vega" landing site areas. // This volume. 2002.
7. V.L. Barsukov, A.T. Basilevsky, G.A. Burba et al. The geology and geomorphology of the Venus surface as revealed by the radar images obtained by Venera 15 and 16. // Proc.Lunar Planet.Sci. Conf. 16th. // J. Geophys. Res. 1986. V. 96. № B4. P. D378-D398.
8. A.T. Basilevsky, G.A Burba, M.A. Ivanov et al. Analysis of the geologic structure and compilation of the geologic map of the northern part of the planet Venus. // Solar System Res. 2000. Vol. 34. No 5. P. 349-378.
9. A.T. Basilevsky, G.A. Burba, M.A. Ivanov et al. Venus: Global geologic map. VENGLOBGEK Project. Sheet A. Ishtar Terra. Scale 1:10,000,000. 1 sheet, multicolor. Electronic version 1.0. // Vernadsky Inst. – Brown Univ. Microsymposium 34 on Comparative Planetology. Moscow, 2001. Supplement (CD-ROM).
10. A.T. Basilevsky, J.W. Head. Global stratigraphy of Venus: Analysis of a random sample of thirty six test areas. // Earth, Moon and Planets. 1995. V. 66. P. 285-336.
11. A.L. Sukhanov, A.A. Pronin, G.A. Burba et al. Geomorphic/geologic map of part of the Northern hemisphere of Venus. Scale 1:15,000,000. Map I-2059. USGS. 1989.
12. Yu.A. Surkov. Exploration of Terrestrial Planets from Spacecraft: Instrumentation, Investigation, Interpretation. Ellis Horwood Ltd. 1990. 300 p.
13. D.E. Wilhelms. Geologic mapping. // Planetary Mapping. / Eds. R. Greeley, R.M. Batson. Cambridge: Cambridge Univ. Press. 1990. P. 208-260.