

АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ СОЗДАНИЕ ГИПСОМЕТРИЧЕСКОЙ КАРТЫ ВЕНЕРЫ ПО  
ДАННЫМ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА «МАГЕЛЛАН»

Е.Н.Лазарев\*, Ж.Ф.Родионова\*\*, И.А.Суэтова\*

\*Географический факультет,

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова;

\*\*Государственный астрономический институт им. П.К. Штернберга МГУ

AUTOMATED CREATION OF HYPSOMETRIC MAP OF VENUS ON THE BASE OF  
MAGELLAN DATA

E.N. Lazarev\*, J.F. Rodionova\*\*, I.A. Suetova\*

\*Geographical Faculty,

M.V. Lomonosov Moscow State University;

\*\*Sternberg State Astronomical Institute,

M.V. Lomonosov Moscow State University

**Abstract.** Hypsometric map of the hemispheres of Venus is created on the base of Magellan spacecraft data. The raster color and shadow image of the relief of Venus in a Mercator projection was used for compilation of this map. Besides the separate images of northern and southern polar areas of the planet limited by parallels of 44,1 degrees in a stereographic projection were also used. The created hypsometric map of venusian hemispheres is compiled in Lambert Equal-Area Azimuthal (Equatorial) projection in a scale 1:55 000 000. The creation of the map passed in several stages with using softwares ArcView 3.2, Arc/Info 8.1, Adobe Photoshop 7.0 and CorelDraw version 7.0. At first we fulfilled the re-projecting from Mercator projection to Lambert Equal Area Azimuthal projection. The map of hemispheres should become a component of a series of other planets' hypsometric maps of hemispheres, which had already created in Sternberg State Astronomical Institute Moscow University together with Geographical Faculty Moscow University. After re-projection we added a coordinate grid and drawing of the names of the relief features on two languages: Latin and Russian. This map is a provisional version of the hypsometric map of Venus. This is the first experiment in the creation maps of the hemispheres of Venus for above mentioned series.

Планета Венера

Вторая от Солнца планета названа в честь богини любви и красоты - Венеры. (Среди прочих названий этой планеты существуют также вавилонское – Иштар, греческое – Афродита и др). Радиус Венеры – 6051,6 км. Масса –  $4,87 \cdot 10^{24}$  кг, что составляет 81% земной массы. Венера обращается вокруг Солнца подобно другим планетам против часовой стрелки за 225 суток. Период ее вращения вокруг оси (243 суток) удалось определить лишь в начале шестидесятых годов прошлого века, когда стали применять методы радиолокации. Две яркие в радиолокационных изображениях детали рельефа Венеры, по которым определили период вращения, назвали первыми буквами греческого алфавита: Альфа и Бета. В отличие от других планет, у которых направления обращения и вращения совпадают, Венера вращается вокруг оси – по часовой стрелке. Вследствие этого Солнце там восходит на западе.

Атмосфера Венеры была открыта русским учёным М.В. Ломоносовым в 1761 г. во время прохождения Венеры перед диском Солнца. Она состоит на 96,5% из углекислого газа и 3,5 % азота (однако, следует иметь в виду, что венерианская атмосфера намного мощнее земной, так что азота там, например, в пять раз больше по массе, чем на нашей планете). Другие газы: водяной пар, кислород, окись и двуокись серы, аргон, неон, гелий и криптон составляют менее 0,1%.

Под туманоподобными облаками, состоящими из капелек концентрированной серной кислоты, которые занимают интервал высот от 49 до приблизительно 75 км, – находится огромный газовый океан, состоящий в основном из углекислого газа. Солнечный свет проникает в глубины этого океана, но из-за рассеяния света увидеть поверхность Венеры с Земли невозможно. Скорее всего, это нельзя сделать и с высоты 25 км над поверхностью не, столько из-за облаков, ослабляющих свет в 2 – 3 раза, сколько из-за подоблачной углекислой атмосферы, ослабляющей его ещё в 10 раз. Эта мощная атмосфера пропускает к поверхности 23% солнечного излучения, нагревающего поверхность планеты. Однако тепловое инфракрасное излучение сквозь атмосферу проходит с большим трудом. И только, когда поверхность нагревается до  $735^{\circ}$  К, уходящий поток энергии оказывается равным пришедшему к поверхности. Благодаря такому парниковому эффекту у поверхности Венеры сохраняется высокая температура независимо от широты местности. В горах, где толщина атмосферы меньше, температура ниже на несколько десятков градусов.

Углекислотная атмосфера Венеры очень плотна. Если, например,  $1\text{ m}^3$  воздуха на уровне моря на нашей планете имеет массу 1,3 кг, то у поверхности Венеры 65 кг, т.е. выше в 50 раз. Масса этого газового океана составляет  $0,5 \cdot 10^{24}$  г, что вполне сравнимо с массой земных океанов –  $1,37 \cdot 10^{24}$  г. Средняя плотность

самой планеты  $5250 \text{ кг}/\text{м}^3$ . Из-за такой высокой плотности атмосферы, скорость ветра, достигающая на высотах около 60 км – 100 м/с, у поверхности падает приблизительно до 1 м/с [1].

Давление венерианской атмосферы у поверхности в среднем равно 90 бар. На вершине гор Максвелла (высотой около 11 км) оно составляет 45 бар, а на дне каньона Дианы – 119 бар. С высотой же давление падает очень резко: на высоте 30 км оно равно 9,4 бар, на высоте 65 км – 0,09 бар. Выше 159 км атмосфера Венеры уже более разрежена, чем атмосфера Земли на тех же высотах.

*Исследования Венеры космическими аппаратами* начались в 1961 г., когда советский космический аппарат «Венера-1» пролетел на расстоянии 100 000 км от планеты. В декабре 1962 г. американский «Маринер-2», прошел в 35 тысячах километров и определил температуру поверхности Венеры. В октябре 1967 г. космический аппарат «Венера-4» при спуске в атмосфере планеты провел научные измерения и впервые установил состав атмосферы. Первыми же аппаратами, достигшими поверхности планеты, были «Венера-7» в 1970 и «Венера-8» в 1972 гг., рассчитанные на давление 180 и 120 бар соответственно. Они включали в себя орбитальный отсек, на котором были установлены научные и служебные приборы и спускаемый аппарат. «Венера-8» зарегистрировала данные о температуре поверхности и давлении, которые оказались очень высокими  $472^\circ\text{C}$  и 93 бар. В феврале 1974 г. Космический аппарат «Маринер-10», пролетавший мимо Венеры, в течение 8 суток фотографировал ее облачный покров с целью изучения динамики атмосферы.

Важной вехой в исследовании планеты стали 22 и 25 октября 1975 г., когда «Венера-9 и -10» вышли на орбиты первых искусственных спутников планеты, а их спускаемые аппараты передали первые изображения её поверхности (рис.1).

Дальнейшее развитие науки позволило увидеть топографию Венеры в глобальном масштабе. Для этого последующие спутники планеты «Венера-15 и -16» (1983 – 1984 гг.) были оснащены особым радиолокатором бокового обзора, который позволил закартографировать более 30 % поверхности северного полушария (от полюса до 25 – 35 с.ш.) с разрешением до 1 км. По данным американского аппарата «Пионер-Венера», выведенного на орбиту спутника Венеры в 1978 г., была составлена первая рабочая карта значительной части планеты. Однако разрешение снимков было на порядок ниже, чем у «Венер».



ВЕНЕРА-9 22.10.1975 ОБРАБОТКА ИППИ АН СССР 28.2.1976

Рис.1 Изображение поверхности Венеры в месте посадки спускаемого аппарата «Венера-9

разрешением менее 300 м (максимальное разрешение достигало 120 м).

Космический аппарат «Магеллан» был первым аппаратом, запущенным с борта космического челнока «Атлантис» в 1989 г. Он вывел «Магеллан» на низкую земную орбиту, где космический аппарат был выпущен из грузового отсека и с помощью специального твердотопливного двигателя (IUS) отправлен в 15-месячное путешествие вокруг Солнца. Совершив полтора оборота, «Магеллан» достиг Венеры 10 августа 1990 г. И с помощью того же двигателя, который выводил его из поля притяжения Земли, КА «Магеллан» был помещен на полярную орбиту искусственного спутника Венеры. Орбита «Магеллана» имела эллиптическую форму. Максимальное приближение к планете равнялось 294 км, а удаление – 8543 км. Один оборот космический корабль делал за 3 ч 15 мин.

В периоды максимального приближения, «Магеллан» с помощью радара, отображал полосы поверхности Венеры шириной от 17 до 28 км и впоследствии, находясь в конечной точке орбиты, передавал отснятые материалы на Землю. В результате, было получено множество высококачественных снимков поверхности Венеры с очень высоким разрешением (как уже упоминалось – до 120 м). На основе этих снимков «Магеллана» были составлены самые точные на сегодняшний день карты поверхности планеты, выполнена оценка возраста поверхности – около 1000 млн. лет; а также было установлено полное отсутствие следов действия водных потоков на планете.

#### Создание гипсометрической карты полушарий Венеры

При создании гипсометрической карты Венеры за основу было взято растровое цветовое и теневое изображение рельефа планеты в проекции Меркатора (по данным КА «Магеллан») [5]. Также использовались отдельные изображения северной и южной приполярных областей планеты в стереографической проекции, ограниченные параллелями 44,1-градусов северной и южной широты. Созданная карта построена в равновеликой азимутальной проекции Ламберта в масштабе 1: 55 000 000 (рис.2,3).

Последним космическим аппаратом, проводившим исследования поверхности Венеры был «Магеллан», который работал на орбите искусственного спутника Венеры с 1990 по 1994 гг. Проводимая аппаратом в течение нескольких лет регулярная радиолокационная съемка позволила сфотографировать рельеф всей поверхности Венеры с

## ВНЕЗЕМНАЯ КАРТОГРАФИЯ

Процесс создания карты состоял из нескольких этапов. Все работы выполнялись с помощью программных продуктов ArcView 3.2, Arc/Info 8.1, Adobe Photoshop 7.0 и CorelDraw version 7.0. Вначале проводилось перепроектирование. Оно было необходимо, так как данная карта должна была войти в серию карт полушарий, включающих карты Луны и Марса, созданных в Государственном астрономическом институте имени Штернберга совместно с кафедрой Картографии и геоинформатики Географического факультета МГУ. В связи с этим, изображение в проекции Меркатора перепроектировалось в равновеликую азимутальную проекцию. Данная проекция была выбрана по нескольким причинам: во-первых, она даёт реальное представление о размере различных форм рельефа планеты и показывает соотношение площадей «положительных» и «отрицательных» формаций. Во-вторых, искажения в азимутальных проекциях увеличиваются к краям карты, поэтому центральная область искажена относительно слабо. С другой стороны, часть изображения, которая подверглась более сильным искажениям, изображена на картах приполярных областей. В-третьих, достоинство этой проекции – наглядность, что немаловажно для обзорной карты. Форма планеты принималась за сферу, поскольку полярный и экваториальный радиусы отличались незначительно.

После того, как было выполнено перепроектирование, наступил второй этап создания карты – составление, включающий в себя добавление координатной сетки и нанесение названий различных форм рельефа Венеры. Для каждого полушария и каждой карты полярных областей был создан отдельный файл, в котором проходило составление. Впоследствии все эти части карты были объединены в одном CDR-файле, в котором проводилась компоновка и т.д. Координатная сеть бралась из архива ArcView и экспорттировалась в CorelDraw, где накладывалась на изображение полушарий планеты, экспорттированных ранее из формата TIFF в формат CDR.

Как уже упоминалось выше, масштаб будущей карты был выбран равным 1 : 55 000 000. Такой нестандартный (для системы картографирования Земли) масштаб был выбран по нескольким причинам. Во-первых, он приблизительно совпадал с масштабом исходной карты в проекции Меркатора, что позволяло сохранить исходную палитру и не допустить дополнительных искажений. Во-вторых, масштаб ограничивался размером пикселя изображения (20 км). И, в-третьих, данный масштаб близок к масштабам карт полушарий других планет, входящих в серию карт, куда должна впоследствии войти и гипсометрическая карта Венеры, и, в то же время, размер карты выполненной в этом масштабе позволяет нанести на неё практически все основные (т.е. самые крупные, исторически значимые и важные с исследовательской точки зрения) формы рельефа Венеры.

Названия различных форм рельефа планеты наносились на двух языках – русском и латинском. Источниками латинских названий здесь являлись самые современные данные о наименованиях, принятых Международным астрономическим союзом [4]. Для русского эквивалента использовались источники [1] и [2]. При выборе подлежащих нанесению названий проводилась генерализация, в соответствии с расположением той или иной формы на поверхности планеты, размером и некоторыми другими параметрами.

После того как составление было закончено, все элементы окончательного изображения: карты полушарий, полярных областей, шкала высот (которая в данной карте заменяется на шкалу радиусов), подписи масштабов, название карты сначала экспорттировались в единый CDR-файл, где производилась компоновка, а затем в TIFF-формат. После этого производилась печать карты.

### Описание рельефа Венеры

Рассматривая гипсометрическую карту Венеры (рис. 1,2) можно видеть, что рельеф Венеры характеризуется сравнительно небольшой амплитудой высот. Глобальный рельеф довольно ровный. Если абстрагироваться от уже известного образа Венеры и представить себе, что она до «нулевого уровня» (до 6051,6 км по радиусу) залита океаном, то 92% поверхности планеты оказались бы под водой. Но при этом имеются крупные низменности и возвышенности, сравнимые по площади с океанами и материками Земли. Над воображаемой водной поверхностью выступали бы только три массива: в северной, восточной и западной частях планеты [1].

Центральный меридиан на Венере проходит через радиояркую область Альфа, а точнее через находящийся в этой области кратер Ева. (В течение последних исследований, найден меньший кратер внутри Евы, названный Ариадна).

Область Альфи ( $25^{\circ}$  ю.ш.,  $0^{\circ}$  в.д.), размерами около 1300 км, – волнистое плато с небольшим понижением в центре. Альфа относится к очень старой части коры Венеры. Рельеф области Альфа образован, по мнению специалистов, многократным и длительным процессом сжатия, создавшим сложно ориентированную складчатость поверхности. Альфа возвышается до 2,5 км над окружающей поверхностью. Плато имеет довольно крутые ( $5 - 10^{\circ}$ ) склоны и сильно раздробленную поверхность. За время, равное примерно 1 млрд. лет, процессы сжатия образовали систему пересекающихся долин и гряд. Такой рельеф получил название *тессера*, что в переводе с греческого означает черепица [3].

## ВНЕЗЕМНАЯ КАРТОГРАФИЯ

К юго-западу от Альфы ( $55^{\circ}$  ю.ш.,  $320^{\circ}$  в.д.) находится кратер Лиза Майтнер ударного происхождения диаметром 300 км и глубиной 1 км. В противоположную от Альфы сторону ( $15^{\circ}$  с.ш. и  $15^{\circ}$  в.д.) находится возвышенность – патера Сапфо, по-видимому, вулканического происхождения.

Наибольший из «континентов» или «материков» – земля Афродиты, расположенная в экваториальной области, имеет протяжённость около 18 тыс. км и охватывает долготы  $60^{\circ}$  –  $210^{\circ}$ . В широтном направлении она простирается от  $10^{\circ}$  с.ш. до  $45^{\circ}$  ю.ш. более чем на 5000 км, а её восточная оконечность область Атлы тянется до  $30^{\circ}$  с.ш. Площадь континента по уровню 6052,2 км составляет 41 млн. км<sup>2</sup>, что соотносится с площадью Африки. Но в сумме континенты Венеры занимают всего лишь около 5 – 7% территории, в зависимости от того, по какому превышению над средним уровнем считать [1].

Карта рельефа Венеры  
Западное полушарие

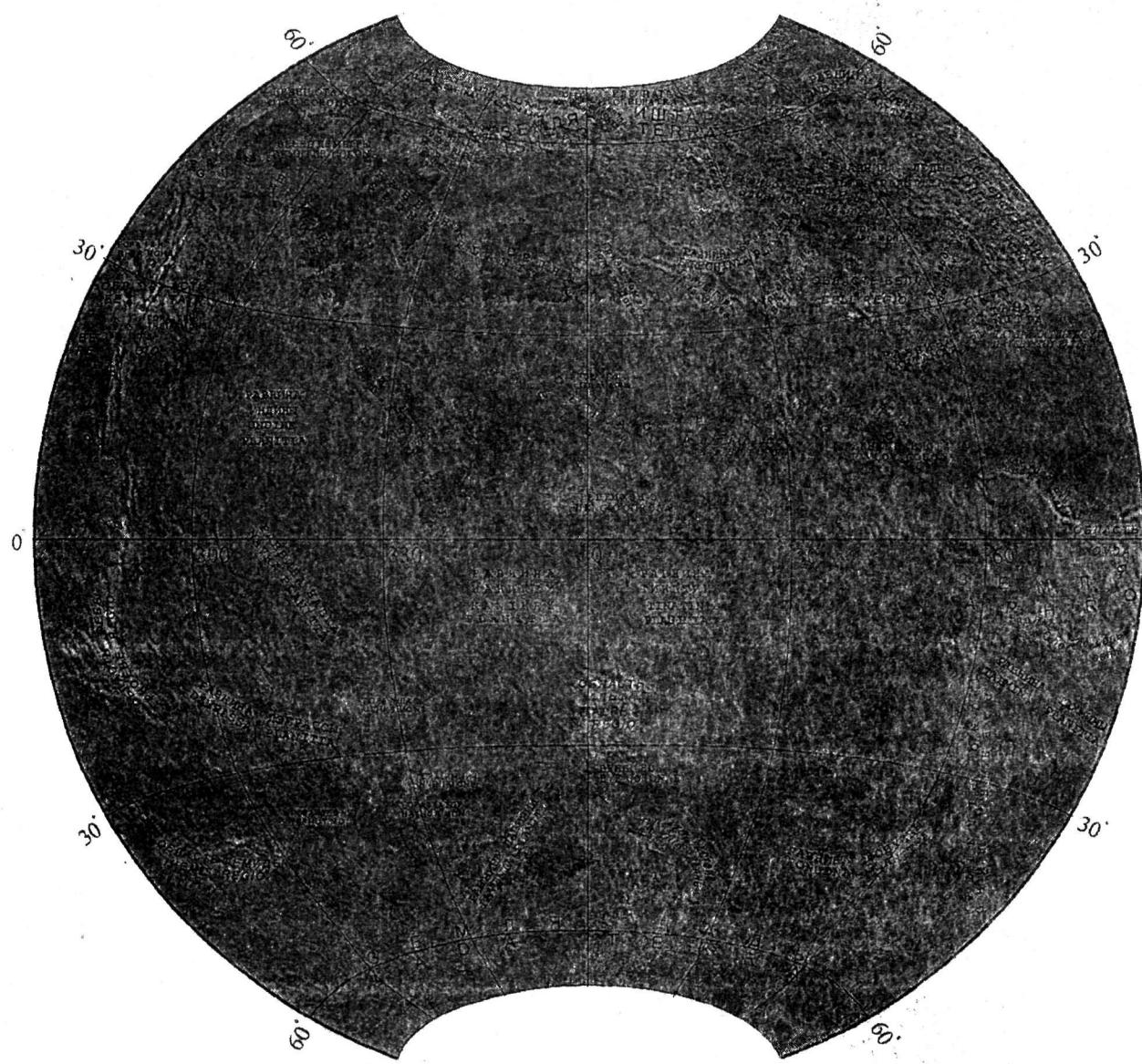


Рис.2

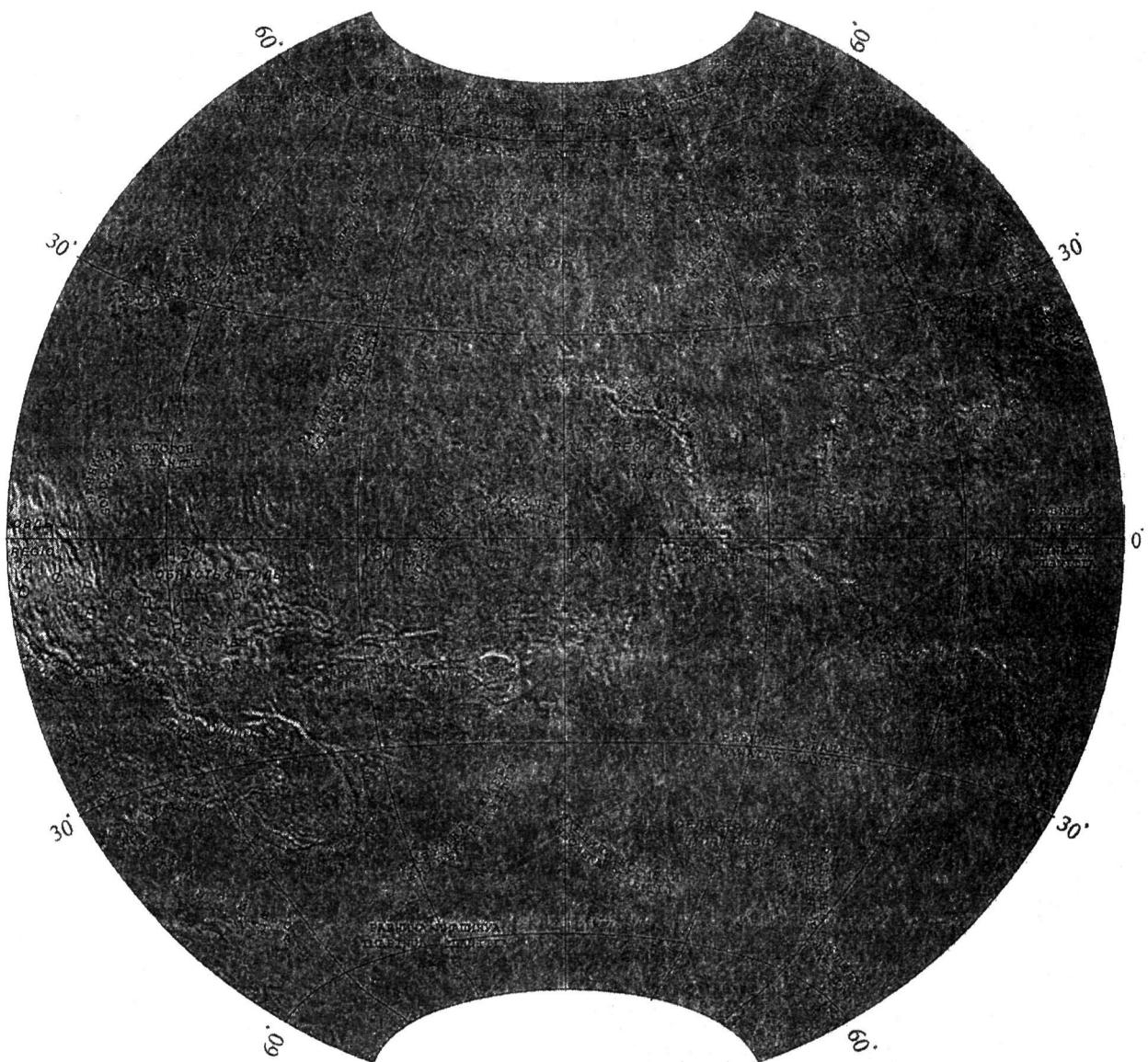
Карта рельефа Венеры  
Восточное полушарие

Рис. 3

В восточной части земли Афродиты расположено большое число кольцевых образований глубиной всего сотни метров. На южной окраине земли Афродиты находится необычное образование каньон Артемиды, похожее на огромный кратер диаметром около 2600 км сравнительно правильной формы с сильно разрушенным двойным валом и ярким в радиолучах пятном в центре ( $34^{\circ}$  ю.ш.  $135^{\circ}$  в.д.). Рифтовая система каньона напоминает сильно разрушенный срединно-океанический хребет на Земле. В восточной части (у  $155^{\circ}$  в.д.) также находится глубокая протяжённая долина – каньон Дианы. В этой области можно заметить и множество других, меньших по размерам каньонов. К северу от Земли Афродиты находятся равнина Ниобы и равнина Атланты глубиной 2,5 км – самая глубокая равнина на Венере.

В северной части западного полушария Венеры у подножья высокогорной земли Иштар можно видеть равнины Седны, Леды и Гинервы. По многим признакам специалисты относят центральную и южную части равнины Седны к вулканическим образованиям. Вероятно, она похожа на базальтовые равнины Марса и Луны. Непосредственный анализ состава пород, проведённый юго-западнее, у массивов Бета и Феба, указал именно на разновидность базальтов. Интересные образования можно видеть у  $357^{\circ}$ -го меридиана между  $40$  и  $46^{\circ}$  с.ш. Это горные районы протяженностью, 300 и 200 км, оставшиеся над заливом вулканическими продуктами равнины. Они, видимо, представляют собой *останцы* – остатки более раннего рельефа [1]. Однако, основная часть равнин Седны и Гинервы – это холмистые равнины. Но плоскими их можно считать лишь условно. На них встречается большое разнообразие рельефа.

С севера к равнине Седны примыкает второй по величине материк Венеры – земля Иштар площадью 8,5 млн. км<sup>2</sup> (приблизительно площадь Австралии). В широтном направлении она протягивается на 13° (2500 км), а в долготном – до 8000 км – от 300 до 80° в.д.

Земля Иштар – своеобразное геоморфологическое образование, объединяющее совершенно не сходные элементы рельефа: обширное высокогорное плато Лакшми вулканического происхождения, горы Максвелла, примыкающие к нему с востока, и расположенный на восточной оконечности материка особый район рельефа.

Плато Лакшми расположено на высоте 3 – 4 км (2 – 3 км над окружающим районом). Оно вдвое больше земного Тибета. На его поверхности наблюдается несколько крупных вулканических кальдер или патер – Сакаджавея (64,5° с.ш., 336° в.д.) и Коллет (66° с.ш., 323° в.д.) размерами около 100 и 160 км. По ряду признаков эти плоскодонные кальдеры близки к щитовым вулканам, т.е. вулканам с малой крутизной склонов, текущая лава которых растекается на большие расстояния. Однако, вполне возможно, что толщина лавового покрова плато велика далеко не везде.

С северо-запада плато обрамляется горами Акны, с севера – горами Фрейи и с юга – горами Дану открывающимися уступом Весты. Они поднимаются до 3,5 км над уровнем плато, причём крутизна внешних склонов гор несколько меньше, чем внутренних, где средняя крутизна равна 6 – 12°. Горы Акны и Фрейи относятся к складчатым образованиям, причём образование гор и плато связаны между собой.

Уступ Весты, в отличие от северной и западной границ плато является сбросом, ограниченным в свою очередь с юга уступом Ут, с общим понижением в 3 км и более.

К западу и востоку от земли Иштар находятся кольцевые образования поперечником от 200 до 600 км, состоящие из концентрических кольцевых или радиально-концентрических систем горных гряд, внутри которых находится хаотический рельеф. Их называли *венцами*. Учёные предполагают, что горячий и менее плотный материал изнутри всплывал, образуя на поверхности гигантский купол с кольцевыми грядами и процессами оползания и сжатия на склонах, а при остыании этого очага происходило обрушение купола и образование хаотичного рельефа. К западу от земли Иштар видны венцы Помоны, Анахит, Бачуз, Феронии и Рананенды и др. На востоке – венцы Вакуны и Тушоли.

Другая «достопримечательность» земли Иштар – горы Максвелла – высочайшие горы Венеры, примыкающие к плато Лакшми с востока. Они находятся в центральной части земли Иштар. Центральная часть горного массива находится на уровне 7 км над плато, причём крутизна склонов очень велика – даже усреднённая по радиоизмерениям она достигает 18°. Во многих отношениях горы Максвелла напоминают горы Акны и Фрейи: такая же складчатость рельефа с типичной шириной складок 10 – 20 км. Высочайшая часть гор находится в 50 км от их подножья со стороны плато, а с восточной стороны главное понижение достигает уровня плато только на расстоянии 400 км от вершины. Вершина самого массива находится на уровне 11 км над средней поверхностью 6051,6 км, вблизи нулевого меридиана (63° с.ш., 2,5° в.д.).

На 300 км к северо-востоку в точке с координатами 66° с.ш., 10° в.д. и на 5 км ниже вершины находится кратер патера Клеопатры с диаметром внешнего вала около 100 км. Патера имеет очень сложную форму – внутри большого кратера находится ещё один, внутренний, диаметром 50 км и глубиной 1 км относительно дна внешнего. В сумме глубина кратеров равна 2,5 км.

Установлено, что патера Клеопатры представляет собой неразрушенный ударный кратер-гигант. На его северо-восточном склоне виден прорыв вала, через который лава вытекала и заливала всю восточную часть района. Возможно, что центральный кратер – это вулканическая кальдера, и излияние лавы – следствие вскрытия лавовых резервуаров при ударе метеоритного тела.

Предполагается, что тектоническая активность района земли Иштар относится к прошлому. Возраст плато Лакшми и прилегающих районов 500 – 1000 млн. лет. Это подтверждает, что метеоритные кратеры на Венере сохраняются до 500 млн. лет, в то время как на Земле они разрушаются за несколько миллионов.

Далее, на юго-западе от этого региона в 4000 км находится область Бета. Весь массив Бета состоит из двух частей – горы Реи и горы Тейи. По мнению специалистов, область Бета – это огромный щитовой вулкан. Высота массива – 4 – 5 км над уровнем, соответствующим среднему радиусу планеты (6051,6 км). Исходя из видимых разрушений, можно сделать вывод, что гора Реи – старое образование, а Тейи – более молодое (на вершине этого массива ещё сохранилась вулканическая кальдера) [1].

Южнее расположена область Фебы, также содержащая рифтовую долину, вытянутую по меридиану. Многочисленные равнины находятся и в южной части полушария. Это равнины Навки, Айно, Лавинии и Елены. На возвышенных областях часто можно видеть вулканические горы. К южной полярной области прилегает земля Лады.

Теперь переместимся опять на самый север – в полярный район Венеры. Через северный полюс Венеры проходит невысокий горный хребет – гряда Денницы, продолжающийся двумя отрогами к югу вдоль долготы 210° в.д. Он отделяет пониженные области северного полюса – равнину Снегурочки от равнин Лоухи.

В заключение стоит ещё раз отметить тот факт, что данная работа не является окончательным вариантом гипсометрической карты планеты. Созданная карта – лишь первый опыт на пути к проектированию карты Венеры, которая впоследствии войдёт в серию карт полушарий планет земной группы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Л.В. Ксанфомалити «Парад планет» Москва; Наука Физматлит; 1997.
2. Г.А. Бурба «Номенклатура деталей рельефа Венеры» Москва; Наука; 1988.
3. Ж.Ф. Родионова «Венера», «Карты Венеры»; *WWW.Selena.SAI.MSU.ru*
4. <http://planetarynames.wr.usgs.gov>
5. <http://pds-geophys.wustl.edu>