

Глава 17

ПОЛЕТЫ К ВЕНЕРЕ

§ 1. Достижение Венеры

Минимальная начальная скорость для достижения Венеры, приведенная к поверхности Земли, равна 11,461 км/с. Ей соответствует геоцентрическая скорость выхода из сферы действия Земли 2,496 км/с. Продолжительность перелета по гомановской траектории составляет 146 сут. Начальная конфигурация планет соответствует опережению Венеры Землей на $54,1^\circ$ (87,8 сут до соединения). Незначительное увеличение скорости отлета с Земли приводит к большому сокращению длительности перелета, так как точка пересечения траектории перелета с орбитой Венеры резко перемещается навстречу Земле.

Синодический период для Венеры равен 583,9 сут, т. е. 19 месяцам. Благоприятные для полетов к Венере сезоны следующие: январь — февраль 1961 г., август 1962 г., март — апрель 1964 г., октябрь — ноябрь 1965 г., май — июнь 1967 г., январь 1969 г., август 1970 г., март — апрель 1972 г., октябрь — ноябрь 1973 г., май — июнь 1975 г., январь 1977 г., август 1978 г., март — апрель 1980 г., октябрь — ноябрь 1981 г., июнь 1983 г., декабрь 1984 г. — январь 1985 г., август 1986 г., март — апрель 1988 г., октябрь — ноябрь 1989 г., июнь 1991 г. [4.13, 4.38]. Каждый из благоприятных сезонов продолжается примерно две недели, т. е. кончается быстрее сезона полета к Марсу, так как Венера быстро обгоняет Землю в движении вокруг Солнца.

Как и при полетах к Марсу, гомановская траектория может быть осуществлена тем точнее, чем ближе в благоприятный сезон Земля находится к линии узлов орбиты Венеры. Декабрь и июнь с этой точки зрения являются в настоящую эпоху наиболее благоприятными месяцами. Эксцентриситет орбиты Венеры ничтожен и практически не сказывается на энергетической стороне полетов к Венере.

Поскольку Венера — внутренняя планета, выход из сферы действия Земли должен происходить в сторону, противоположную движению Земли. Поэтому окружность наземных стартов распола-

гается во фронтальном полушарии Земли. Старт к Венере без выхода на промежуточную орбиту, если он будет возможен для пунктов северного полушария, осуществим осенью.

§ 2. Посадка и искусственный спутник Венеры

Планетоцентрическая скорость входа космического аппарата в сферу действия Венеры минимальна при гомановской траектории перелета и равна 2,709 км/с. Соответствующая минимальная скорость падения равна 10,713 км/с. Можно ее принять за скорость входа в атмосферу (за радиус планеты 6050 км принимается радиус ее верхнего слоя облаков). При негомановском перелете скорость входа больше, так как гелиоцентрический подлет к Венере осуществляется под углом к ее орбите. Чрезвычайно плотная атмосфера Венеры позволяет осуществить аэродинамическое торможение, но предъявляет очень высокие требования к прочности спускаемого аппарата.

Тормозной импульс для перевода космического аппарата на низкую орбиту спутника планеты равен 3,385 км/с в случае гомановского перелета. Это довольно большая величина, и теоретической возможностью использования аэродинамического торможения для запуска спутника Венеры не следует пренебрегать.

Стационарный спутник Венеры не существует, поскольку один оборот вокруг оси Венера совершает за 243,16 сут (в обратном направлении)¹⁾. Орбита спутника с таким периодом обращения должна была бы находиться вне сферы действия Венеры.

Влияние атмосферы Венеры на продолжительность жизни искусственного спутника характеризуется следующим теоретическим фактом: спутник может продержаться на орбите более года, если начальная высота перицентра не менее 500 км [4.38].

§ 3. Облет Венеры

Сравнительно большая масса Венеры предоставляет различные возможности для пертурбационных маневров.

Существует большой класс траекторий облета Венеры с возвращением к Земле примерно через год. Минимальное расстояние от Венеры может при этом составлять от нескольких сот километров до нескольких десятков тысяч километров [4.8].

По другим данным [4.38] пассивный облет Венеры с возвращением к Земле может продолжаться примерно 2 года и требует на-

¹⁾ Интересно отметить, что в моменты приближения Венеры к Земле на кратчайшее расстояние (один раз за синодический период) эта планета оказывается повернутой к Земле всегда одной и той же стороной. Этот поразительный факт свидетельствует о том, что указанная выше продолжительность одного оборота Венеры вокруг оси обязана своим значением влиянию земного притяжения [4.46]!

чальной скорости, близкой к случаю полета без возвращения. Возвращение же через 300—400 сут возможно, если сообщить космическому аппарату вблизи Венеры (активный облет) импульс менее 0,1 км/с, причем требуемая начальная скорость лишь на 0,2 км/с превышает скорость, необходимую для полета к Венере без возвращения. Скорость входа в атмосферу Земли будет при этом порядка 14—14,8 км/с.

На рис. 145 показана траектория 1—2—3 полета к Марсу с попутным облетом Венеры (в точке 2) [4.47]. (Участок 4—5 представляет собой траекторию возвращения к Земле экспедиции после

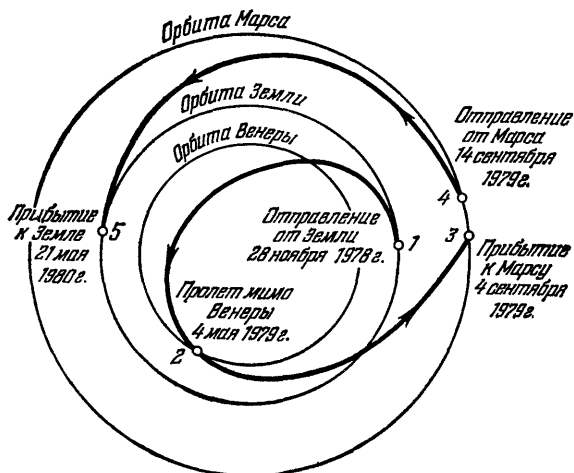


Рис. 145. Полет к Марсу через Венеру [4.46].

10-суточного пребывания на Марсе или на орбите около него.) Подобное использование гравитации Венеры позволяет осуществить полет к Марсу во время неблагоприятного периода при сравнительно скромных энергетических затратах и снизить скорость входа в атмосферу Марса [4.39]. Активный маневр вблизи Венеры еще больше расширяет возможности попутного облета [4.38].

Особый интерес представляет попутный облет Венеры, сопровождающий облет Марса с возвращением к Земле. Он возможен в двух вариантах: Земля — Венера — Марс — Земля и Земля — Марс — Венера — Земля. Любая конфигурация Земли, Венеры и Марса относительно Солнца повторяется примерно через 6,4 года («суммарный синодический период Венеры и Марса»); примерно через такой же промежуток времени повторяется возможность операции двойного облета с возвращением к Земле при малой суммарной характеристической скорости (включающей в общем случае импульсы активных маневров вблизи Венеры и Марса). Более точно

(с учетом эллиптичности и наклона орбит) ситуация повторяется примерно через 32 года. Двойной облет с возвращением к Земле требует меньшей характеристической скорости, чем прямой (минующий Венеру) облет Марса с возвращением, и приводит к меньшей скорости входа в атмосферу Земли. Благодаря существованию двух вариантов (З—В—М—З и З—М—В—З) он делается возможен примерно через 3,2 года. С учетом прямого облета запуск космического аппарата для облета Марса с возвращением к Земле осуществляется практически ежегодно [4.38].

В главе 18 мы коснемся использования поля тяготения Венеры при полетах к Меркурию, а в главе 19 — к Юпитеру. Здесь же заметим, что поле тяготения Венеры может быть использовано для полета в окрестность Солнца. Траектория рассчитывается таким образом, чтобы после пролета Венеры ее перигелий приблизился к Солнцу. Можно так подобрать период обращения после прохождения Венеры, чтобы космический аппарат снова встретил Венеру и в результате перигелий еще больше приблизился к Солнцу. Было рассчитано, что с помощью ракетной системы, состоящей из ракет «Сатурн-1В», «Центавр» и «Першинг», таким путем может быть доставлена полезная нагрузка 272 кг на расстояние 0,1 а. е. от Солнца [4.47].

Многokrатный облет Венеры — чрезвычайно эффективный метод для исследования Солнца с высоких гелиографических высот. Для этого пролет мимо Венеры должен совершаться в точках, в которых ее орбита пересекает плоскость солнечного экватора. Еще лучше следующий сложный маневр: космический аппарат пролетает мимо Венеры, чтобы затем выйти на высокие гелиографические широты, пролетев сквозь сферу действия Земли. Теперь, разумеется, Земля должна находиться в точке пересечения своей орбиты с плоскостью экватора Солнца, и ее облет должен быть многократным, чтобы наклонение орбиты космического аппарата постепенно увеличивалось. Без Венеры это требует начального выхода на внешнюю эллиптическую орбиту с импульсом скорости в афелии, который бы сделал период обращения равным земному [4.48].

§ 4. Автоматические станции исследуют Венеру

Из 12 приведенных в § 1 благоприятных сезонов, истекших до 1979 г., лишь два (сезоны 1964 и 1977 гг.) не были использованы ни СССР, ни США для полетов к Венере. Перечислим совершенные полеты (подавляющее большинство их — советские).

12 февраля 1961 г. — старт советской станции «Венера-1» массой 643,5 кг (впервые в истории использована промежуточная орбита вокруг Земли). 19—20 мая станция прошла на расстоянии 100 000 км от Венеры.

27 августа 1962 г. — старт американского космического аппарата «Маринер-2» массой 203 кг, который 14 декабря 1962 г. прошел на расстоянии 35 600 км от поверхности Венеры.

12 и 16 ноября 1965 г. — «Венера-2» и «Венера-3». Начальная скорость (после схода с орбиты) — 11,5 км/с. Станция «Венера-2» прошла (по прогнозу) на расстоянии 24 000 км от Венеры, так что ее траектория не нуждалась в коррекции (целью был пролет на расстоянии не более 30 000 км). После двух коррекций «Венера-3» впервые достигла планеты Солнечной системы 1 марта 1966 в 9 ч 56 мин 26 с московского времени (утро на Земле — лучшее время как для наблюдения, так и для радиоприема Венеры).

12 июня 1967 г. — «Венера-4» (масса 1106 кг). Траектория близка к гомановской. Станция вошла со скоростью 10,7 км/с в атмосферу Венеры на ночной стороне. Еще до этого от нее отделился шарообразный спускаемый аппарат (диаметр 1 м, масса 383 кг), покрытый теплозащитным слоем. Он самостоятельно вошел в атмосферу. Максимальная перегрузка достигла 300. При скорости спуска 0,3 км/с раскрылся тормозной парашют, заставивший раскрыться и основной. В течение 93 мин до момента, когда, как предполагают, внешнее давление вдавило крышку приборного отделения, шла радиопередача.

14 июня 1967 г. стартует «Маринер-5». 19 октября 1977 г. он проходит на расстоянии 3970 км от поверхности Венеры.

5 и 10 января 1969 г. — «Венера-5» и «Венера-6» (по 1130 кг). Импульсы схода с околоземных орбит 3,6 км/с. Угол начальной конфигурации примерно 45°. Коррекции 14 и 16 марта соответственно траекторий «Венеры-5» (импульс 9,2 м/с) и «Венеры-6» (37,4 м/с) при ориентациях в обоих случаях по Солнцу и Сириусу обеспечили вход в атмосферу Венеры московским утром 16 и утром 17 мая 1969 г. Спускаемые аппараты (СА) отделились на расстояниях 37 и 25 тыс. км от Венеры и вошли в атмосферу со скоростями 11,18 км/с под углами 62—65°. Расстояние между точками входа 300 км. Парашюты раскрылись при скорости спуска 210 м/с. Связь с СА «Венера-5» продолжалась 53 мин, а с СА «Венера-6» — 51 мин, причем за это время СА прошли 36,7 и 34,2 км.

17 августа 1970 г. — старт «Венеры-7» (масса 1180 кг). Предварительно охлажденный СА вошел в атмосферу Венеры 15 декабря 1970 г. со скоростью 11,5 км/с. Максимальная перегрузка равнялась 350, температура раскаленного слоя вокруг СА — 11 000°. Парашют раскрылся на высоте 60 км при скорости 0,2 км/с (нарочито позже, чем в предыдущих полетах) и давлении 0,7 атм. Через 35 мин 32 с после входа СА спустился на поверхность со скоростью встречи 16,5 м/с в 2000 км от утреннего терминатора. В течение 23 мин после этого принимался ослабленный в 100 раз сигнал. Передавалась информация о температуре. Это была первая передача с поверхности какой-либо планеты.

27 марта 1972 г.— старт «Венеры-8» (начальная скорость 11,5 км/с). Вход СА в атмосферу Венеры 22 июля (максимальная перегрузка 335, температура 12000°) Спуск на парашюте, открывшемся при скорости 0,25 км/с, продолжался около часа. После посадки (вблизи терминатора) в течение 50 мин передавались данные об атмосфере и грунте планеты.

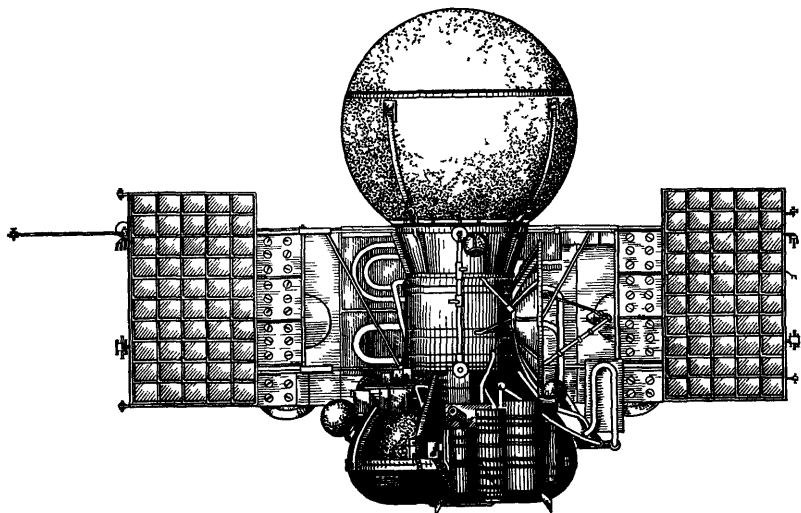


Рис 146 Общий вид станции «Венера-9» («Венера-10») до отделения шарообразного спускаемого аппарата (СА) от орбитального аппарата

5 февраля 1974 г. мимо Венеры по пути к Меркурию (см. § 3 гл. 18) пролетел запущенный 3 ноября 1973 г. американский космический аппарат «Маринер-10», который передал тысячи фотографий планеты.

8 и 14 июня 1975 г. к Венере стартовали станции «Венера-9» и «Венера-10» (4936 и 5033 кг) — представители нового поколения автоматических венерианских станций в СССР (рис. 146) [4.49—4.51]. Как траектории перелетов (рис. 147), так и околопланетные операции были рассчитаны таким образом, чтобы в течение не менее 115 мин обеспечивалась ретрансляция на Землю радиосигналов со спускаемого аппарата (СА) через орбитальный аппарат (ОА) каждой станции, причем орбита ОА должна была одновременно отвечать требованиям исследований планеты. Были проведены (для каждой станции) две коррекции, причем первые (11,93 и 14,42 м/с) сделали траектории попадающими, а вторые (13,44 и 9,68 м/с) уточнили места посадок и время входа. За двое суток до подлета к планете, уже в сфере действия Венеры, произошло отделение ОА от СА, причем ОА перешел на пролетную траекторию, огибающую Венеру в направлении, противоположном СА (импульсы увода ОА

для станций «Венера-9, -10» соответственно 247,3 и 242,9 м/с). Непосредственно после прохождения перигентра сообщались тормозные импульсы (922,7 и 976,5 м/с), и ОА обеих станций выходили на орбиты вокруг Венеры высотой 1510÷112 200 км и 1620÷113 900 км, с наклонениями $34^{\circ}10'$ и $29^{\circ}30'$, периодами обращения 48 ч 18 мин и 49 ч 23 мин. Непосредственно после этого каждый ОА оказывался в зоне радиосвязи (рис. 148) своего СА, начавшего передачу уже на этапе парашютного спуска.

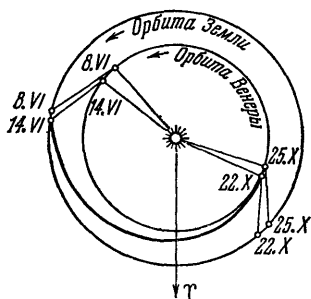


Рис 147. Гелиоцентрические траектории станций «Венера-9» и «Венера-10» [4.49].

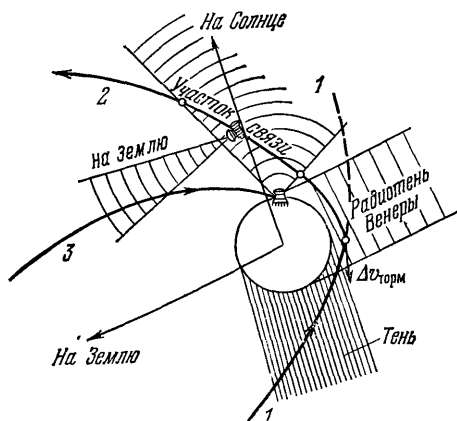


Рис 148. Схема припланетных операций станции «Венера-9» («Венера-10»): 1 — пролетная траектория ОА, 2 — орбита искусственного спутника Венеры, 3 — траектория СА [4.49].

Спускаемые аппараты станций «Венера-9, -10» (1566 кг, рис. 149), предварительно охлажденные до температуры $-8 \div -10^{\circ}\text{C}$, вошли в атмосферу со скоростью 10,7 км/с под углами $20,5^{\circ}$ и $22,5^{\circ}$. Максимальные перегрузки равнялись 136 и 167,5. Атмосферная подушка снижала скорость до 250 м/с, когда на высоте 65 км вступала в действие сложная парашютная система (и одновременно радиоконкомплекс), которая полностью отбрасывалась на высоте 50 км. При дальнейшем снижении в течение примерно 55 мин действовало жесткое аэродинамическое тормозное устройство (теплозащитная сферическая оболочка диаметром 2,5 м, отбрасывалась еще раньше). Посадочные скорости не превышали 7—9 м/с. Передачи с поверхности (в частности, телепанорам) продолжались в течение 53 и 65 мин, причем бортовые аппаратуры СА нормально функционировали ч после выходов ОА из зон радиосвязи. Орбитальные аппараты совершали с орбит фотографирование Венеры, бистатическую радиолокацию поверхности (такую, при которой прямой и отраженный сигналы принимаются на Земле), радиопросвечивание атмосферы Венеры и околосолнечной плазмы.

В сезон 1978 г. к Венере были впервые направлены как советские, так и американские станции.

20 мая 1978 г. ракета «Атлас — Центавр» вывела космический аппарат «Пионер-Венера-1» (560 кг) на траекторию перелета, двигаясь по которой он 4 декабря 1978 г. достиг Венеры и перешел на орбиту ее искусственного спутника с периодом обращения 24 ч и наклонением 115° (высота после коррекции $200 \div 66\,400$ км). «Неестественно» большой межпланетный участок перелета (и «слишком ранняя» дата старта) объясняется тем, что аппарат достиг окрестностей

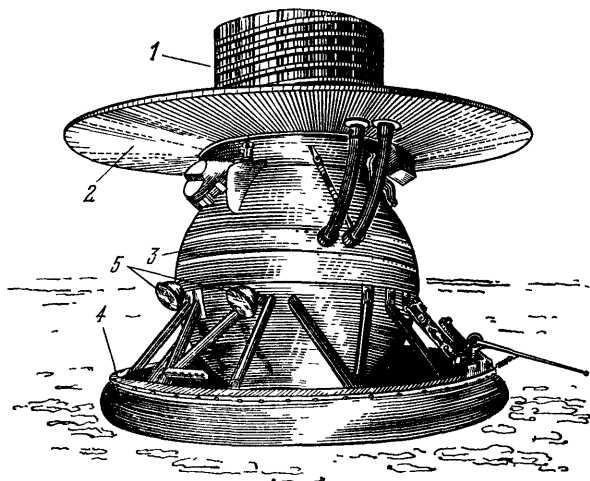


Рис. 149 Спускаемый аппарат станции «Венера-9» («Венера-10»): 1 — спиральная антенна, 2 — аэродинамическое тормозное устройство-щиток, 3 — толстостенный корпус, заключающий приборный контейнер, 4 — эластичное посадочное устройство, 5 — прожекторы для подсветки (не понадобились).

Венеры на второй половине своей гелиоцентрической орбиты — не до, как обычно, а после прохождения перигелия.

8 августа 1978 г. ракетой «Атлас-Центавр» был запущен аппарат «Пионер-Венера-2» (масса 904 кг). За 24 дня до входа в атмосферу Венеры от основного блока аппарата отделился большой зонд (317 кг), а еще через 4 дня — три одинаковых малых зонда (по 27 кг). 9 декабря большой зонд совершил спуск на парашюте, раскрывшемся на высоте 43 км, малые зонды спустились без парашютов примерно на расстоянии 10 000 км друг от друга (вблизи северного полюса, на дневной и на ночной стороне южного полушария). Основной блок через 2 мин после входа в атмосферу вблизи южного полюса сгорел, как и предполагалось заранее, на высоте 120 км. Все пять объектов передавали информацию, причем сигналы от четырех зондов, начавшие поступать за 22 мин до входа, ретранслировались через искусственный спутник Венеры «Пионер-Венера-1» во время прохождения ими атмосферы и даже несколько позже, чего вовсе не ждали (сильные сигналы зонда «День» шли в течение 68 мин после падения). До входа зондов в атмосферу связи с ними не было.

9 сентября 1978 г. начался полет советской станции «Венера-11», а 14 сентября «Венеры-12». 19 декабря, за двое суток до входа в атмосферу Венеры, от станции «Венера-12» был отделен спускаемый аппарат, а станция переведена на пролетную траекторию с перигелием на расстоянии 35 000 км от поверхности Венеры. Аналогичная операция со станцией «Венера-11» была проведена 23 декабря. Спускаемые аппараты станций вошли в атмосферу Венеры и совершили спуски на парашютах 21 и 25 декабря в точках, разделенных 800 км, причем очередность спусков была обратна очередности запусков. СА «Венера-11» вел передачу с поверхности в течение 95 мин, СА «Венера-12» — 110 мин. Основные блоки станций перешли на орбиты искусственных планет и продолжали начатую программу исследований (главным образом изучение гамма-всплесков солнечного и галактического происхождения).

§ 5. Результаты исследований Венеры

Собственное магнитное поле Венеры весьма мало, что полностью соответствует весьма медленному вращению планеты. Это поле обнаруживается на ночной стороне планеты, где в магнитном шлейфе одна связка силовых линий выходит из района севернее экватора, а другая входит в район южнее экватора (они разделены нейтральным слоем). Вблизи планеты шлейф проходит уже внутри тени планеты и как бы опоясывает жидкое ядро планеты. На фоне действия солнечного ветра магнитосфера едва обнаруживается [4.52].

Масса атмосферы Венеры составляет 10^{-4} массы планеты в целом (у Земли в 100 раз меньше). Температура атмосферы у поверхности в среднем 480°C , а давление 93 атм, плотность газа — лишь в 14 раз меньше плотности воды. До высоты 55 км на дневной и ночной стороне температура примерно одинакова. На высоте 40 км давление равно 3,5 атм, а на высоте 51 км — 1 атм. Именно плотность газа, а не какие-либо примеси ограничивают видимость на Венере. Повсюду в атмосфере, кроме чистого приповерхностного слоя толщиной 10 км, наблюдаются весьма разреженные туманы, дымки и облака. В облаках видимость составляет несколько километров. Составляют они в основном из капелек концентрированной серной кислоты, а нижний их слой — из частиц жидкой и твердой серы. Только он по плотности похож на земные облака. На ночной стороне верхний слой облаков на $8\text{—}12^{\circ}\text{C}$ теплее, чем на дневной. Ночная сторона излучает на 17% больше энергии, чем дневная. Облака ночью опускаются на 1—2 км. Зарегистрированы мощные грозовые разряды: 35 разрядов в секунду на одном из участков.

Скорость ветра около поверхности очень мала (порядка 0,5—1 м/с), но выше — увеличивается. Ее максимум — 180 м/с — на высоте 54 км (в середине слоя сернистых облаков).

По составу атмосфера на 98% состоит из углекислого газа, 1—3% азота, есть очень немного водяного пара, окиси углерода, на больших высотах — кислорода, очень небольшие количества гелия, аргона, неона. Замечены также пары соляной, плавиковой и серной кислот. Венера окружена облаком водорода, простирающимся до высоты почти 1000 км.

На Венере имеются обширные равнины со сглаженным рельефом, а также горы и горные хребты с крутыми склонами. Телепанорамы, переданные станциями «Венера-9, -10», показали камни на крутом склоне горы и плоскую равнину со скальными плитами, что указало на тектоническую активность планеты [4.53—4.56].

Чрезвычайно высокая плотность атмосферы Венеры в свое время заставляла предположить, что линия горизонта на ней весьма далека (ожидалось даже, что луч света может обогнуть всю Венеру, так что «наблюдатель увидит свой затылок»). В действительности из-за сильного нагрева черной, как уголь, поверхности обнаруживается обратный эффект: горизонт очень близок [4.54].

Радиолокационные наблюдения с орбиты позволили обнаружить гигантскую рифтовую долину глубиной в несколько километров, шириной от 240 до 320 км и длиной более 1000 км. По другим сообщениям наблюдался каньон глубиной 6,4 км и длиной 400 км. Обнаружены горные цепи, а также вулканические образования. Высота некоторых гор — до 10 км.

Сообщалось, что американский зонд зарегистрировал с высоты 12 км красноватое свечение поверхностных пород, которое на высоте 10 км стало совершенно красным и делалось все более ярким по мере погружения.

Трудно себе представить более неподходящие для возникновения жизни условия, чем те, которые мы наблюдаем на Венере. Л. В. Ксанфомалити, автор с блеском написанной книги «Планеты, открытые заново» [4.54], впрочем, остроумно замечает, что — не приходится сомневаться, — если бы жизнь на Венере была вдруг обнаружена, тотчас бы нашлось этому теоретическое объяснение. И такое объяснение в книге приводится!..