

## ПОВЕРХНОСТЬ МАРСА \*)

Р. Лейтон

*Снимки Марса, полученные космическими аппаратами «Маринер» 6 и 7, показали нам, что эта планета имеет такие особенности поверхности, которые не похожи ни на лунные, ни на земные образования; в их числе полярная шапка Марса, скорее всего состоящая из сухого льда.*

На первом рисунке Марса, сделанном при посредстве телескопа, было изображено одиночное круглое черное пятно в центре правильного круга. Эта зарисовка была сделана итальянским астрономом Франциско Фонтана в 1636 г. Через 30 лет Жан Доминик Кассини отметил наличие у планеты полярных шапок и зарисовал светлые и темные пятна, из которых состоит поверхность Марса. По изменению положений этих пятен Кассини заключил, что планета вращается вокруг оси с периодом 24 час 40 мин; этот результат ошибочен всего на 3 мин. Помимо полярных шапок, на рисунках Кассини имеются по крайней мере две особенно яркие детали, одна из которых соответствует области, именуемой сейчас Nix Olympica, а другая — пустыня Elysium.

Между 28 июля и 5 августа 1969 г. Nix Olympica, пустыня Elysium и множество других деталей поверхности Марса, которые неоднократно зарисовывались и о природе которых велись оживленные дискуссии в течение трех столетий — с тех пор как Фонтана и Кассини делали свои наблюдения, были зафиксированы посредством беспристрастных «глаз» телевизионных камер с кораблей «Маринер-6» и «Маринер-7», прошедших вблизи Марса. Оба корабля передали на Землю 202 снимка Марса, сделанных на расстояниях от 1 716 000 км до 3500 км от поверхности планеты. Кроме того, были получены 1177 снимка планеты, каждый из которых содержит  $\frac{1}{7}$  элементов изображения полного снимка; они были сняты с расстояний как больше указанных выше пределов, так и меньше их. Хотя эти дополнительные снимки включают меньше подробностей, они также представляют собой богатый источник сведений о Марсе.

Каждое из 202 полных изображений содержит то же количество битов информации, что и все 22 снимка Марса, переданные космическим кораблем «Маринер-4» в 1965 г. Программа последнего не включала фотографирования полного диска планеты, и сделанные им с близкого расстояния снимки, как они ни замечательны сами по себе, пролили мало света на природу крупномасштабных деталей поверхности, наблюдаемых с Земли. На этих снимках мы увидели обильно усыпанные кратерами участки

\*) Robert B. Leighton. The Surface of Mars, Scientific American 222 (5), 26 (1970). Сокращенный перевод Л. В. Самсоенко.

Автор статьи Роберт Б. Лейтон — профессор физики Калифорнийского технологического института.

планеты, которые поразительно напоминали поверхность Луны. Несомненно, эти изображения могли бы до глубины души потрясти астрономов XIX и начала XX века, которые были убеждены, что Марс — близнец Земли.

Снимки «Маринеров» 6 и 7 принесли новую неожиданность: оказывается, Марс совсем не похож на увеличенную в размерах Луну, а обладает особенностями, присущими лишь ему одному и не встречающимися больше нигде в солнечной системе. Теперь выяснилось, что, помимо изрытой кратерами поверхности, впервые обнаруженной на снимках «Маринера-4», на Марсе имеются значительные по размерам области (особенно пустыня Hellas), практически лишенные кратеров. Что же сгладило поверхность, которую почти наверняка когда-то усеивали кратеры?

На новых снимках удалось также выявить третий тип поверхности, который геологи называют «хаотическим». В этих областях кратеры почти полностью уничтожены, однако местами поверхность покрыта беспорядочными валами, или хребтами, не похожими на образования, наблюдаемые на Луне, и не имеющими земных аналогов.

На «Маринерах» 6 и 7 были также установлены спектрометры для изучения атмосферы Марса в ультрафиолетовом и инфракрасном участках спектра и инфракрасный радиометр для измерения температуры поверхности планеты. При исследовании слабого изменения частоты радиосигналов от космического корабля, по мере того как последний заходит за планету и через несколько минут появляется снова, была получена дополнительная ценная информация об атмосфере планеты. Помимо этого, точное радиопрослеживание кораблей при прохождении ими близ Марса позволяет уточнить размеры солнечной системы, орбиты Марса, Земли и соседних планет.

Космические аппараты «Маринер» 6 и 7 были запущены посредством ракетной системы «Атлас — Центавр», у которой на второй ступени («Центавр») в качестве горючего используется жидкий водород. Общий вес направленного к Марсу корабля составлял 380 кг, из которых на научное оборудование приходилось 115 кг. Это дало возможность установить на каждом корабле по две телевизионные камеры — одну широкоугольную для съемки всего диска с больших расстояний и вторую — длиннофокусную для снимков во время сближения с планетой.

Широкоугольные камеры имели фокусное расстояние 52 мм, длиннофокусные — 508 мм. При максимальном сближении корабля с планетой изображение длиннофокусной камеры покрывало область поверхности планеты примерно  $72 \times 84$  км и позволяло разрешить кратеры с диаметрами до 300 м. Первая камера давала изображение участка поверхности в 100 раз большей площади, чем вторая.

Оптическая система каждой камеры создавала на чувствительной поверхности видикона прямоугольное изображение размерами  $9,6 \times 12,3$  мм. Затем оно преобразовывалось в телевизионное изображение, состоящее из 704 строк по 935 элементов в каждой строке (всего 658 240 элементов). Каждый элемент кодировался по 256 уровням яркости, что требовало 8 бит ( $2^8 = 256$ ). Таким образом, каждое изображение, полученное «Маринерами» 6 и 7, содержало около  $5 \cdot 10^6$  бит информации (по сравнению с  $2,4 \cdot 10^5$  бит, содержащихся в каждом изображении «Маринера-4»).

Вследствие ряда ограничений изображения не могли передаваться на Землю в реальном времени, подобно телевизионному репортажу, а предварительно накапливались на магнитной ленте. Были использованы две системы записи: цифровая (в двоичной системе) с емкостью  $13 \cdot 10^6$  бит и аналоговая с эффективной емкостью  $120 \cdot 10^6$  бит. На обоих кораблях аналоговый сигнал с видикона использовался двояким образом. Во-первых, запись переводилась в 8-битовый код: нулевой уровень яркости кодиро-

вался как 00000000, а наибольшая яркость — 11111111. Два первых двоичных разряда усреднялись по нескольким строкам и передавались на Землю в реальном времени как часть инженерной телеметрической информации. Оставшиеся 6 бит информации от каждого седьмого элемента строки записывались в двоичной памяти и впоследствии передавались на Землю, образуя 1777 изображений, каждое с полнотой информации  $1/7$ .

Во-вторых, аналоговый сигнал с видекона проходил на аналоговую запись, но сначала подвергался двум преобразованиям. Чтобы усилить

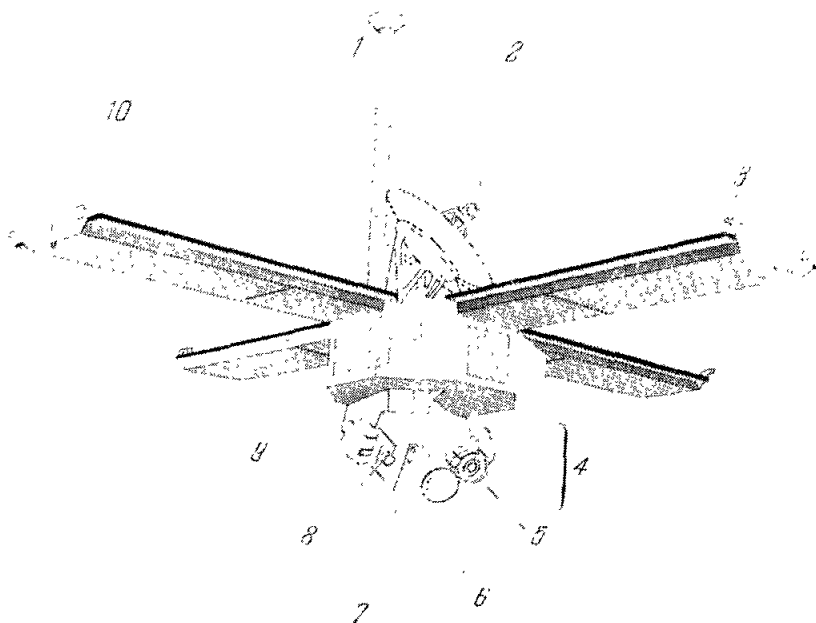


Рис. 1. «Маринеры» 6 и 7 по конструкции аналогичны предыдущим аппаратам серии «Маринер», в числе которых «Маринер-2» (1962) и «Маринер-5» (1967) совершили успешные полеты к Венере, а «Маринер-4» (1965) — к Марсу. Вес аппаратов «Маринер» 6 и 7 составляет 380 кг, из которых 115 кг приходится на научную аппаратуру. Солнечные панели имеют в размахе 5,7 м. 1 — антенна, 2 — остронаправленная антенна, 3 — управляющие двигатели, 4 — подвижная платформа, 5 — ИК спектрометр, 6 — крупномасштабная камера, 7 — УФ спектрометр, 8 — широкоугольная камера, 9 — ИК радиометр, 10 — солнечные батареи.

видимость мелкомасштабных деталей, сигнал автоматически корректировался таким образом, что его средняя интенсивность была примерно постоянной (метод автоматической регулировки усиления). Помимо этого сигнал проходил через контур с реакцией по кубическому закону, что усиливало локальный контраст примерно в три раза. Конечный эффект этой процедуры состоял в обеспечении большей «тонкозернистости» сигнала при последующем преобразовании аналоговой записи в 6-битовый двоичный сигнал для передачи на Землю.

В дальнейшем первые два бита двоичного сигнала от изображения, которые были усреднены по нескольким строкам и переданы на Землю раньше, декодировались на вычислительной машине и объединялись с аналоговыми данными об изображении; тем самым формировалось окончательное изображение, включающее весь 8-битовый (256-уровневый) интервал кодирования. Если бы уровни яркости последовательных элементов изобраа-

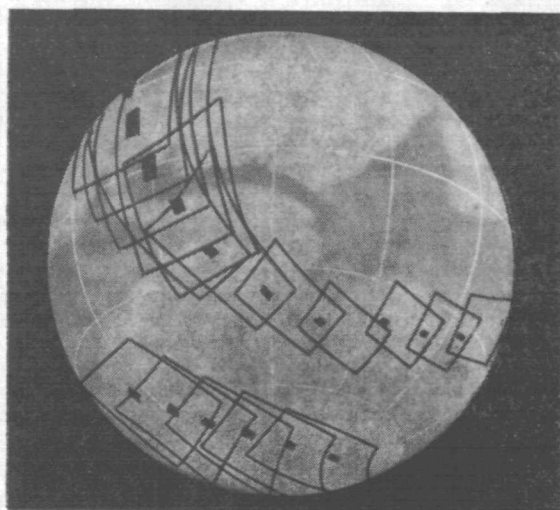
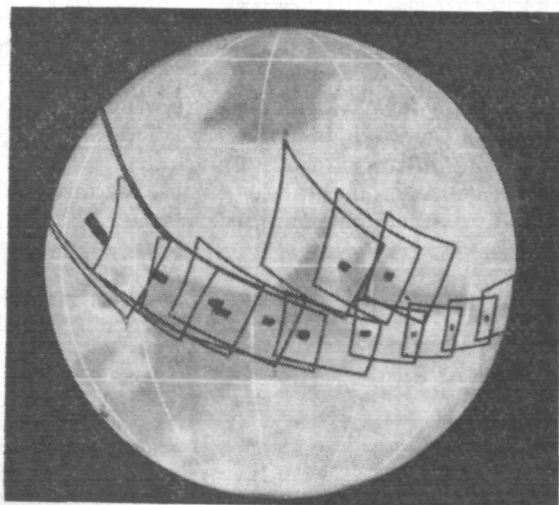


Рис. 2. Распределение на поверхности планеты снимков, сделанных «Маринерами» 6 и 7. Вверху — снимки при близком прохождении, сделанные «Маринером-6»; внизу — снимки «Маринера-7». На верхнем рисунке центральный меридиан имеет долготу  $335^\circ$  з. д. На нижнем рисунке Марс повернут справа налево; центральный меридиан имеет долготу  $30^\circ$  з. д. Второй ряд снимков охватывает южную полярную шапку. Расположение снимков широкоугольных камер отмечено рамками, а длиннофокусных камер — темными прямоугольниками. Разрешение широкоугольных снимков примерно в 100 раз лучше, чем можно получить с Земли; разрешение крупномасштабных снимков примерно в 1000 раз лучше.

жения менялись от 0 до 255 совершенно случайным образом, то описанная схема не работала бы. Однако из результатов «Маринера-4» нам было известно, что градации яркости на поверхности Марса не аналогичны таблице случайных чисел, а контрасты ее в общем невелики.

Одно из наиболее существенных различий между «Маринером-4» и «Маринерами» 6 и 7 состояло в повышении скорости передачи информации в 2000 раз: с  $8\frac{1}{3}$  бит в секунду до 16 200 бит в секунду. Этого удалось достичь увеличением мощности радиопередатчика с 10 до 20 ватт и сужением пучка радиоволн, излучаемой антенной. Немалую роль сыграло то обстоятельство, что в 1969 г. расстояние между Марсом и Землей составляло 100 млн. км, тогда как в 1965 г. оно достигало 210 млн. км. Помимо этого, новая приемная антенна в Голдстоуне (диаметром 64 м) имела в 7 раз большую собирающую площадь, чем 24-метровая антенна, использовавшаяся в 1965 г.

«Маринеры» 6 и 7 направлялись к Марсу по разным орбитам. Для «Маринера-6» для даты сближения было выбрано 31 июля 1969 г.; точка сближения подбиралась таким образом, чтобы обеспечить при близком прохождении получение снимков в полосе между экватором планеты и  $\sim 20^\circ$  с. ш. Вся последовательность снимков охватывала почти половину окружности планеты. В середине съемки камера была сдвинута к северу для

включения постоянной темной детали марсианской поверхности Meridiani Sinus. Снимки вдоль экватора включают хорошо изученные темные и светлые области, две давно известные детали, именуемые в марсианской картографии «оазисами» (Juventae Fons и Oxia Palus), а также изменяющуюся область Deucalionis Regio.

Спустя пять дней к планете должен был приблизиться «Маринер-7» и произвести серию перекрывающихся снимков, которая начиналась бы к северу от экватора и тянулась на юго-восток. В середине съемки планировалось смещение камеры в южном направлении, с тем чтобы охватить край южной полярной шапки Марса и район самого полюса. В эту серию должна была войти область Hellespontus, которая темнеет сразу после начала «таяния» полярной шапки, а также пустыня Hellas.

При съемке с близкого расстояния обе камеры работали поочередно, с интервалами между экспозициями 42 сек. Широкоугольная камера была снабжена красным, зеленым и синим фильтрами, вмонтированными в четыре отверстия поворачивающейся заслонки. Изображения получались в следующей последовательности: зеленый фильтр, красный, зеленый, синий. Длиннофокусная камера была снабжена только одним желтым фильтром для исключения «синей дымки», которая могла бы присутствовать в атмосфере Марса.

«Маринер-6» был без каких-либо происшествий запущен 24 февраля 1969 г.; «Маринер-7» — спустя 31 день. Однако «Маринер-7» достиг Марса всего на пять дней позже «Маринера-6»; дело в том, что его траектория была короче на 20% и имела протяженность 316 млн. км по сравнению с 390 млн. км для «Маринера-6».

За 50 часов до момента наибольшего сближения по команде бортовой управляющей машины камеры «Маринера-6» были направлены на Марс. Был включен датчик яркости, посредством которого планета попала в поле зрения длиннофокусной камеры. Через два часа камерой было снято 33 изображения планеты с интервалами в 37 мин; они были зафиксированы на аналоговой записи. Операция заняла 20 час. За это время Марс повернулся на  $\frac{5}{6}$  полного оборота; расстояние до него изменилось от 1 241 000 км до 725 000 км. После приема записи в Голдстоуне она была стерта, а затем сделано 17 дополнительных снимков; расстояния в это время менялись с 561 000 км до 175 000 км. Запись была передана на Землю и снова стерта. Лучшие из изображений полного диска планеты во второй серии показывали детали поверхности, не превышающие в поперечнике 25 км, что по крайней мере в 6 раз лучше, чем для любых фотографий, полученных с Земли.

Эти 50 фотографий полного диска показали, что общий вид планеты гораздо больше напоминает ее фотографические изображения, чем рисунки, сделанные визуальными наблюдателями. За немногими исключениями наблюдатели рисовали Марс с резкими границами между светлыми и темными областями, и на некоторых широко известных рисунках Марс изображался покрытым сложной сетью каналов, нередко в виде тесно расположенных параллельных линий. Подобные рисунки, несомненно, связаны с тенденцией зрения и сознания объединять тесно расположенные детали в непрерывную картину.

Спокойное течение событий неожиданно нарушилось за несколько часов до начала передачи «Маринером-6» изображений планеты с малых расстояний. Именно в этот момент, когда все внимание было сосредоточено на «Маринере-6», с другим кораблем связь была полностью потеряна на 7 часов. Сначала возникло предположение, что корабль столкнулся с небольшим метеорным телом. Когда же связь удалось восстановить, обнаружилось, что «Маринер-7» ощутимо уменьшил свою скорость, вследствие

чего изменилась и его орбита. Более того, возникло подозрение, что подвижная платформа, на которой крепились камеры, из-за нарушений в электрических цепях повернулась на несколько градусов, и не было никаких способов установить ее направление.

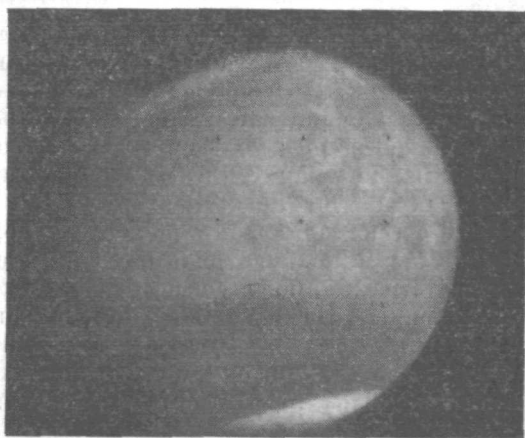


Рис. 3. Снимок полного диска Марса, полученный «Маринером-7» с большого расстояния. Четко выделяющийся кратер с валом — хорошо известная по наземным наблюдениям деталь Nix Olympica.

Положение было спасено поворотом широкоугольной телевизионной камеры таким образом, чтобы в поле зрения попал Марс; тем самым было установлено положение платформы. Нормальный полет возобновился; это «незапланированное» происшествие подтвердило надежность работы систем космического корабля.

«Маринер-7» произвел три серии снимков Марса с далекого расстояния (общим числом 93) в течение трех 20-часовых периодов по мере сближения с планетой (от 1 716 000 км до 127 000 км). При программировании намеченной съемки южной по-

лярной шапки пришлось принять во внимание новую траекторию корабля. Происшествие сместило точку наибольшего сближения с планетой на 130 км к юго-востоку от первоначально рассчитанной. В настоящее время представляется, что все эти события были вызваны не ударом метеорного тела, а аварией батареи, сопровождавшейся выбросом газа; этого оказалось достаточно для изменения траектории корабля.

Снимки «Маринера-7» с больших расстояний укрепили нашу уверенность в правильности интерпретации многих крупномасштабных деталей марсианской поверхности. В частности, эти снимки показали, что «пятнистость», отмечаемая в темных областях («морях») Марса при фотографировании с Земли, в действительности связана с большим числом кратеров, диаметры которых достигают нескольких сотен километров. Границы морей оказываются размытыми в одних местах и резкими в других. То здесь, то там длинные темные «языки» вытягиваются в окружающие светлые области. Эти характерные особенности отмечались на многих рисунках Марса и фотографиях, сделанных с Земли.

Мы внимательно исследовали те детали на снимках, которые могли бы соответствовать «каналам»: темным, часто размытым более или менее линейным образованиям, обычно с малым контрастом; некоторые каналы можно различить даже на фотографиях, сделанных с Земли. На снимках Марса, сделанных при подлете к планете, оказалось возможным отождествить каналы Agathodaemon и Serberus. Другие каналы распадаются на последовательности темных пятен различных размеров. Представляется наиболее правдоподобным, что «каналы» представляют собой случайное линейное упорядочение хаотически разбросанных темных пятен.

Возможно, наиболее примечательная деталь, четко выделяющаяся в обоих комплексах изображений Марса с далеких расстояний — это яркое пятно, называемое Nix Olympica; оно оказалось кратером диаметром около 500 км — гораздо более крупным, чем какой-либо лунный кратер.



На снимках, полученных «Маринером-4», имелся слабый намек на какую-то «вуаль» в камере или в атмосфере Марса, уменьшавшую их четкость. Эта «вуаль» никак не проявила себя на изображениях, полученных «Маринерами» 6 и 7. На нескольких из новых снимков выявляются также атмосферные рассеивающие слои в виде стратифицированных полос, прилегающих к лимбу планеты. Интенсивность рассеяния, по-видимому, меняется с местоположением и временем дня. Основной рассеивающий слой имеет толщину около 10 км и, вероятно, расположен на высоте от 15 до 25 км.

Любопытная особенность снимков Марса с Земли состоит в том, что большинство фотографий, снятых через синий фильтр, имеет значительно уменьшенный контраст между темными и светлыми деталями поверхности. Однако в редких случаях контраст значительно повышается — явление, именуемое «синим прояснением». Общепринято, что за это явление ответствен «синий» рассеивающий слой в атмосфере. Новые снимки «Маринеров», сделанные через синий фильтр, не показывают никаких признаков замутнения, вызванного «синей дымкой». При сравнении перекрывающихся изображений, сделанных через красный и зеленый фильтры, поверхность планеты остается четко видимой во всех цветах. Тем не менее, изображения Марса, полученные в то же самое время с Земли, имеют типичное «помутнение» в синих лучах.

Таким образом, пролет обоих кораблей близ Марса не совпал с редким явлением «синего прояснения». Причина необычных эффектов при фотографировании Марса с Земли через синий фильтр остается необъясненной.

Внимательное сравнение изображений, полученных двумя «Маринерами» с интервалом в пять дней, в особенности снимков полного диска планеты, подтверждает существование атмосферной активности. В северном полярном районе ряд областей были яркими на снимках «Маринера-6» и сильно ослабленными — на снимках «Маринера-7».

Поскольку эти области сохраняли неизменное положение по отношению к поверхности планеты, возможно, что изменение их яркости связано с изменением количества «иней» на поверхности или с изменениями постоянного облачного покрова, связанного с особенностями рельефа поверхности. Дальше к югу, в особенности близ областей Tharsis, Candor, Tractus Albus и Nix Olympica, можно было заметить локализованные области, которые начинали светлеть по мере приближения к марсианскому полудню и достигали максимума яркости спустя несколько часов.

Основная цель запуска кораблей по программе «Маринер» состояла в регистрации при близком прохождении основных деталей поверхности Марса, наблюдаемых с Земли. «Маринер-4» дал нам возможность познаться с узкой полосой поверхности планеты, составляющей всего около 1% ее полной площади. 58 изображений, полученных «Маринерами» 6 и 7 с близкого расстояния, охватывают более 10% поверхности планеты и позволяют взглянуть на нее с иной точки зрения. Помимо областей, покрытых

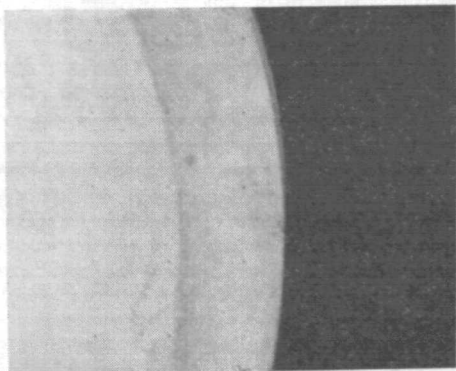


Рис. 4. На этом снимке, сделанном «Маринером-7», на лимбе планеты хорошо заметен слой «дымки». Темная полоса на поверхности планеты — приборный эффект.

кратерами, мы знаем теперь об обширных районах, полностью лишенных кратеров или других топографических деталей, а также о третьем типе поверхности Марса, который лучше всего охарактеризовать термином «хаотический».

Марсианские кратеры разделяются на два основных типа: крупные, с плоским дном и подвергшиеся эрозии; небольшие, чашеобразные и, по-видимому, образовавшиеся сравнительно недавно. Последние напоминают лунные первичные ударные кратеры. Однако на полученных снимках

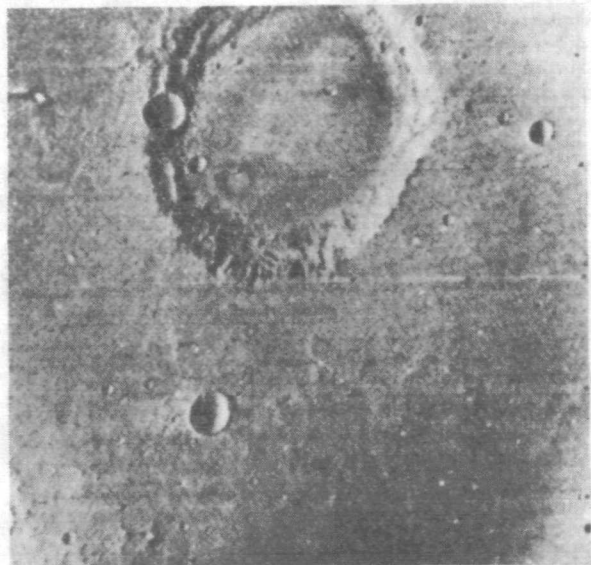


Рис. 5. На крупномасштабном снимке 18, сделанном «Маринером-6», представлена область Марса, поразительно напоминающая по рельефу лунную поверхность. Крупный кратер с плоским дном — типичный пример образования, имеющего весьма значительный возраст. Окружающие его кратеры с округлым дном, по-видимому, моложе.

даемым фактом, что марсианские кратеры в общем менее глубоки и имеют более сглаженные очертания, чем лунные. Несомненно, это характерное отличие связано с наличием у Марса атмосферы, хотя бы и весьма разреженной.

На нескольких снимках можно заметить невысокие, нерегулярные валы, похожие на те, которые встречаются в лунных морях, а также несколько слабых, мелких линейных деталей. Мы не смогли с уверенностью отождествить их, однако они немного напоминают грабенообразные трещины с плоским дном (как прямые, так и изгибающиеся), которые обнаружены на Луне. К нашему удивлению, новые снимки не дали ни одного примера прямолинейной «линии разлома», которая отчетливо пересекает один из кратеров на снимках «Маринера-4».

Поскольку новые фотографии покрыли площадь в 10 раз большую, чем область, охваченную снимками «Маринера-4», мы предполагали обнаружить на них несколько примеров таких «линий». Наконец, следует подчеркнуть, что нам нигде не удалось обнаружить признаков образований подобных земным тектоническим формациям — подъемов горных массивов, формирования островных дуг или следов деформации сжатия.

отсутствуют объекты, подобные большим, старым кратерам на Луне, затопленным расплавленными породами, впоследствии застывшими (примером этому может служить лунный кратер Платон). Мы также не заметили на Марсе лучей и «роев» вторичных кратеров, связанных с крупными ударными кратерами на Луне. Хотя вокруг некоторых марсианских кратеров можно различить области выбросов, они кажутся меньшими по размерам, чем аналогичные лунные образования. Следует отметить, что отсутствуют именно те особенности рельефа, которые легче всего уничтожаются в ходе эрозии или выравнивания поверхности; это согласуется с тем наблю-



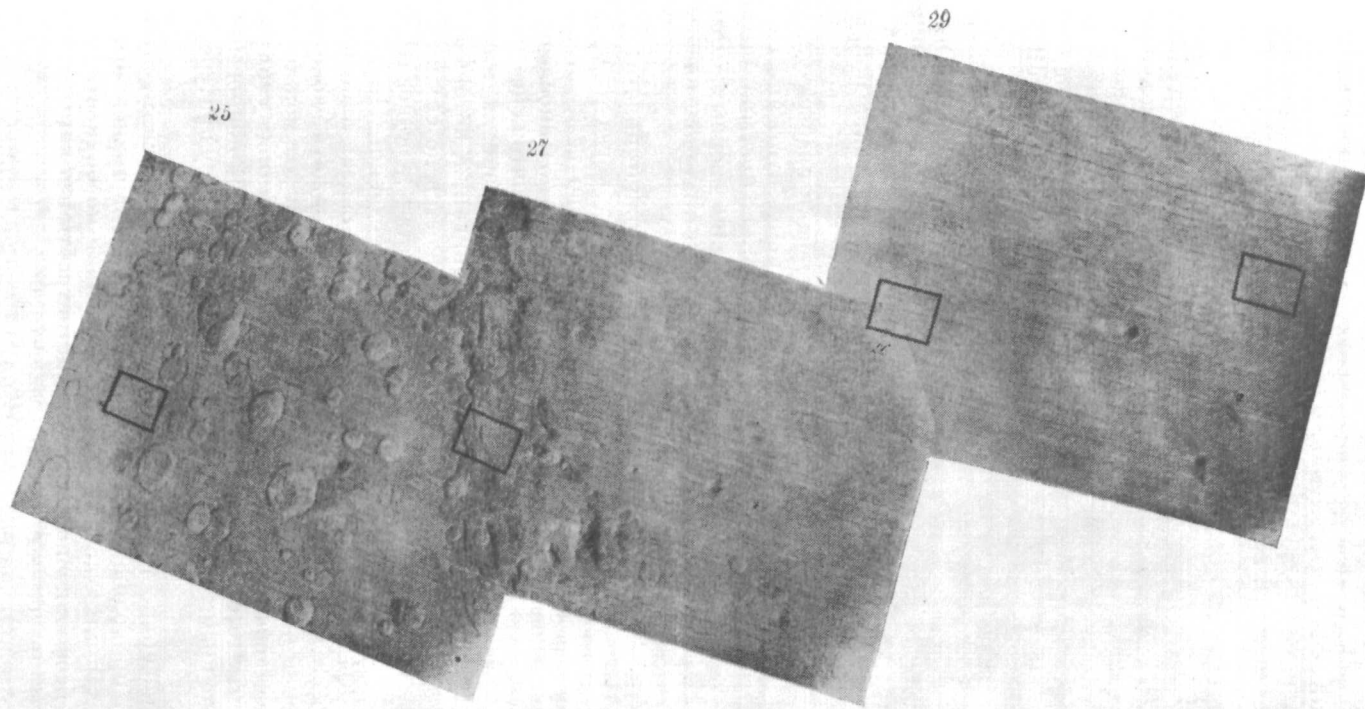


Рис. 6. Лишенная каких-либо топографических деталей область Марса, выявленная на последовательности трех снимков 25, 27 и 29, сделанных «Маринером-7». Снимки охватывают известные по наземным наблюдениям области Noachis, Hesperontus и «пустыню» Hellas, которая иногда кажется более светлой и яркой, чем южная полярная шапка при наблюдениях с Земли. Число кратеров резко уменьшается в левой части снимка 27, и на протяжении последующих 1600 км, т. е. почти всей ширины Hellas, они практически отсутствуют. Это исчезновение кратеров — удивительная загадка. Предположение, что на такой обширной области на протяжении миллиардов лет не возникло ни одного кратера, совершенно неправдоподобно. Поразительны также ровность и сглаженность пустыни Hellas.

В определенном смысле астрономы XIX века, изучавшие Марс, оказались правы, назвав область Hellas пустыней. Огромная область круговой формы, имеющая 1600 км в поперечнике, почти полностью лишена кратеров или каких-либо других топографических деталей вплоть до предела разрешения камер (~300 м). Области сравнимых размеров и гладкости на Луне неизвестны. Ближайшей земной аналогией явилась бы или

какая-либо крупнейшая пустыня, или безжизненная степь.

Последовательность снимков «Маринера-7», началась в темной области Hellespontus и пересекла Hellas. Область Hellespontus усеяна кратерами. Затем следует покрытая хребтами и долинами переходная зона, ширина которой меняется от 130 до 350 км, также покрытая кратерами и, возможно, имеющая слабый уклон в сторону пустыни Hellas. В самой пустыне на протяжении первых 200 км число кратеров падает до нуля.

Можно полагать, что кратеры когда-то существовали во всей этой области, но впоследствии были уничтожены в ходе процесса эрозии или выравнивания, который продолжается до сих пор или перестал действовать совсем недавно. Но что же

Рис. 7. «Хаотическая» область на Марсе — столь же неожиданное открытие, как и лишенная каких-либо деталей область. Эти области были обнаружены на снимках «Маринера-6», охватывающих полосу поверхности Марса длиной около 2000 км к югу от марсианского экватора, в районе Aurorae Sinus. На снимке 7 «Маринера-6» видна хаотическая область в крупном масштабе; снимок охватывает площадь  $126 \times 97 \text{ км}^2$ . Беспорядочно расположенные хребты и долины не похожи ни на какие лунные области и не имеют никаких земных аналогов.

это за процесс? Эффект «сглаживания» должен быть связан либо с местными особенностями материала, поверхности или отражать локальную картину напряжений в близповерхностных слоях. Едва ли можно вообразить себе существование системы ветров, локализованной столь причудливым образом, что они образовали сплошной пылевой покров пустыни Hellas и в то же время оставили почти нетронутыми массу кратеров вокруг нее.

Третий тип поверхности, который мы назвали хаотическим, выявляется на снимках, приходящихся на середину съемки «Маринера-6». Геологи используют термин «хаотический» для описания поверхности, содержащий короткие, беспорядочно нагроможденные хребты и долины. Длиннофокусные снимки позволяют заключить, что подобные области могут занимать не менее миллиона квадратных километров или приблизительно половину площади, охваченной широкоугольными снимками планеты параллельно ее экватору и к югу от него. Области этого типа пересекаются короткими хребтами и практически свободны от кратеров.

Хаотические области на Марсе по структуре и распределению деталей существенно отличаются от тех областей лунной поверхности, которые

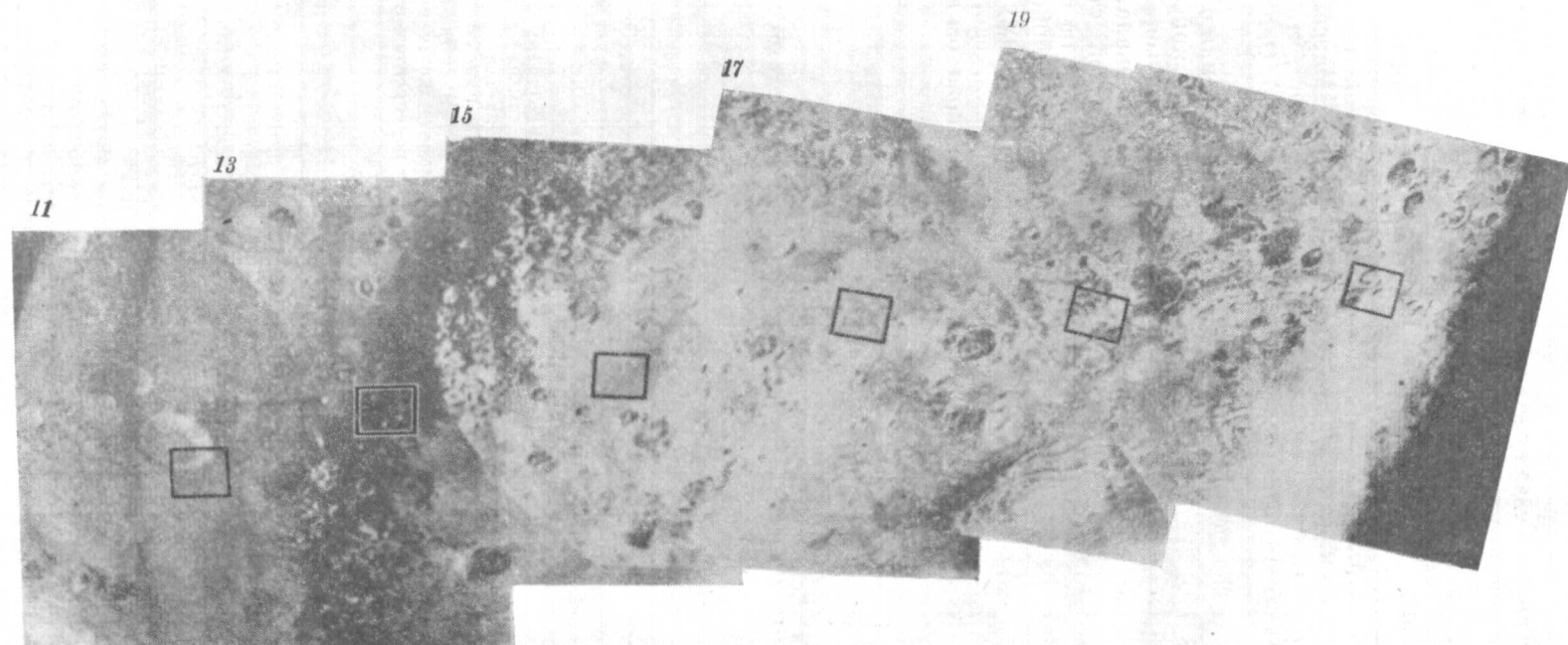


Рис. 8. Южная полярная шапка, составленная из снимков 11, 13, 15, 17 и 19, сделанных «Маринером-7». На правом краю — линия терминатора, разграничивающая дневное и ночное полушария Марса. Южный полюс Марса лежит близ ряда валов в нижнем правом углу снимка 17.

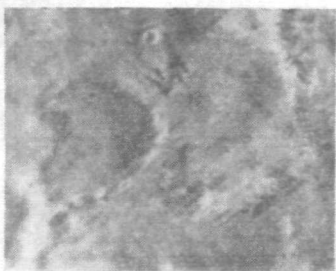
покрыты выбросами из кратеров и немного похожи на указанные марсианские образования. Создается впечатление, что значительная часть площади этих хаотических областей подверглась обрушению в результате исчезновения подповерхностного материала — например, толстого слоя вечной мерзлоты. Другая возможность состоит в достаточно обширном перемещении магмы. Однако отсутствие каких-либо других характерных вулканических структур делает эту возможность маловероятной.

Мы не предполагали, что фотографии южной полярной шапки разрешат спор между теми, кто уверен, что полярные шапки Марса состоят из обыкновенного снега или льда, и теми, кто убежден в том, что они состоят в основном из твердого углекислого газа (сухого льда). Однако наш

эксперимент дал новые свидетельства в пользу справедливости предположения о замерзшей углекислоте. Наблюдаемая яркость полярной шапки может объясняться тонким покровом любого белого материала, достаточно измельченного. С другой стороны, некоторые особенности рельефа на крупномасштабных снимках области полярной шапки, ненаблюдаемые на аналогичных снимках за пределами полярной шапки, заставляют предложить, что «снег» (какова бы ни была



12



18



20

Рис. 9. Крупномасштабные снимки полярной области Марса показывают, что марсианский «снег» (вероятно, твердая углекислота) распределен в кратерах и вокруг них довольно причудливым образом. Снимок 12 приходится на самый край полярной шапки. Солнце светит слева, хотя на первый взгляд это представляется неправдоподобным: правые стороны кратеров кажутся погруженными в тень. Дело объясняется тем, что «снег» испаряется солнцем. Тем не менее, «снежный покров» кое-где остается и четко выявляет центральные горки в крупнейшем из четырех больших кратеров. Это заставляет предположить, что «снег» каким-то образом переносится с низких мест на возвышенные.

его природа) скапливается массами и достигает глубины в несколько метров. В то же время структура края полярной шапки позволяет предположить, что испарение, вызванное солнечным нагреванием, играет большую роль, чем местные ветры.

Предполагая, что скорость испарения в основном определяется солнечным теплом близ полудня, можно оценить, что суммарная потеря с поверхности за марсианский день составляет примерно  $1 \text{ г/см}^2$  для твердого  $\text{CO}_2$ ; для водяного льда аналогичная величина примерно в 10 раз меньше. Поскольку полное испарение шапки на данной широте требует многих дней, можно умножить указанную величину на число весенних и летних дней (порядка 100) и получить оценку минимальной полной тол-

щины полярной шапки. Результат составляет десятки  $г/см^2$  для твердого  $CO_2$  и несколько  $г/см^2$  для водяного льда.

Возникает вопрос, может ли марсианская атмосфера, состоящая в основном из углекислого газа с очень небольшой примесью паров воды, обеспечить перенос достаточного количества вещества от одного полюса к другому в период между летом и зимой. Расчеты показывают, что атмосфера Марса не способна обеспечить перенос даже того весьма незначительного количества воды, которое следует из расчетов скорости испарения. Однако для углекислого газа транспортировка от полюса к полюсу не является необходимой, поскольку атмосфера Марса состоит в основном из этого газа, которые может просто переходить в твердое состояние при понижении температуры. Отсюда мы заключаем, что «снежный покров» на Марсе состоит в основном (если не полностью) из замерзшего углекислого газа.

Снимки полярной шапки Марса выявляют одну загадку: многие кратеры в этом районе имеют темное дно и светлые валы. Примерно такая же картина на Земле вполне естественна: снег выпадает и сохраняется на более высоких местах. Однако на Марсе осаджение имеет место преимущественно в низких местах, где атмосферное давление выше. Ввиду этого необходимо искать «механизм», способный переносить «снег» с низких мест на возвышенные.

Хотя ветры являются подходящим механизмом переноса твердого  $CO_2$ , все же более правдоподобно, что  $CO_2$  может испаряться со дна кратеров и выпадать на больших высотах, где холоднее. Другая возможность состоит в том, что у некоторых кратеров дно кажется темным, потому что они покрыты сплошным затвердевшим покровом из сухого льда, который, подобно только что замерзшим озерам на Земле, может выглядеть относительно темным.

Разумеется, нет ничего удивительного в том, что снимки «Маринеров» 6 и 7 не дали никаких свидетельств существования жизни на Марсе. Если жизнь там все же существует, то она скорее всего имеет примитивную форму, возможно в виде одноклеточных организмов, и потому совершенно невидима.

Разумеется, можно спросить: возможно ли вообще существование жизни на Марсе? Из снимков «Маринеров» можно заключить, что наиболее серьезным ограничивающим фактором для существования жизни на Марсе в тех формах, которые нам известны, является крайне малое количество воды. Обилие кратеров и отсутствие тектонических структур, аналогичных земным, — дополнительные данные в пользу представления, что на Марсе не существовали океаны земных размеров в течение сколько-нибудь длительного времени, и вполне возможно, что океаны на Марсе вообще отсутствовали.

Разумеется, никто не может сказать, насколько должен быть велик океан, требующийся для зарождения жизни, или в течение какого времени подобный океан должен существовать. Если Марс должен стать испытательным полигоном для наших выводов о зарождении жизни, мы должны серьезно опасаться использовать основанные на земном опыте выводы для заключения о том, что Марс лишен жизни.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. R. B. Leighton et al., Mariner 6 Television Pictures: First Report, Science, 165, № 3894, 684 (1969).
2. R. B. Leighton et al., Mariner 7 Television Pictures: First Report, Science, 165, № 3895, 787 (1969).
3. R. B. Leighton et al., Mariner 6 and 7 Television Pictures: Preliminary Analysis, Science, 166, № 3901, 49 (1969).



## ДОПОЛНЕНИЕ

В статье Р. Лейтона подробно описывается эксперимент по фотографированию поверхности Марса и лишь упоминается о спектрофотометрии Марса в ИК и УФ областях, наблюдениях радиозатмений обоих аппаратов и т. п.

Зондирование атмосферы Марса при радиозатмениях обоих аппаратов велось на частоте 2195 Мгц. «Маринер-6» скрылся за диск планеты близ Meridiani Sinus; давление у поверхности в этой точке составило 6,8 мб,  $T = 250^\circ \text{ К}$ . Выход произошел на южной стороне близ северного полюса планеты; здесь у поверхности  $p = 6,5 \text{ мб}$ ,  $T = 160^\circ \text{ К}$ . Заход «Маринера-7» за диск произошел в районе южной полярной шапки, близ темной области Hellespontico Depressio. Давление в точке захода оказалось равным 3,8 мб.

Измерение профиля электронной концентрации показало, что высота максимума ионизации равна 130 км, а максимальная электронная концентрация  $1,7 \cdot 10^5 \text{ см}^{-3}$ , что примерно в 2 раза больше, чем по данным «Маринера-4» в 1965 г. Возможно, это связано с большей солнечной активностью или меньшим зенитным углом Солнца в 1969 г.

УФ спектрометры, установленные на обоих аппаратах, работали в диапазоне 1100—4300 Å. В спектре лимба в области 1100—1900 Å обнаружены эмиссии  $L_\alpha$  ( $\lambda 1216 \text{ Å}$ ) атомарного водорода,  $\lambda\lambda 1304$  и  $1356 \text{ Å}$  атомарного кислорода и четвертая положительная система СО. В области 1900—4300 Å спектр лимба складывается из спектра диска Марса, спектра  $\text{CO}_2$  при малом давлении и полос СО при флуоресцентном рассеянии солнечного света. Несмотря на тщательные поиски, ни одной эмиссионной полосы или линии азота (молекулярного и атомарного, ионизованного или нейтрального) найти не удалось. Таким образом, азот в атмосфере Марса практически отсутствует.

Инфракрасные спектрометры на обоих аппаратах работали в области 1,9—14,3 мкм. В ИК спектрах Марса отождествляются полосы  $\text{CO}_2$ , СО и твердой  $\text{H}_2\text{O}$  (последние, по-видимому обусловлены тонкой дымкой ледяных кристаллов в атмосфере). В области полярной шапки интенсивность полос  $\text{CO}_2$  возрастает и появляются полосы твердой  $\text{CO}_2$ . Эти наблюдения подтверждают сделанный в статье вывод, что полярные шапки Марса состоят если не полностью, то хотя бы частично из твердой  $\text{CO}_2$ .

Анализ ИК спектров поглощения  $\text{CO}_2$  в области  $\sim 2 \text{ мкм}$  позволил рассчитать содержание  $\text{CO}_2$  в атмосфере Марса и тем самым получить данные о высотах подстилающей поверхности с абсолютной точностью  $\pm 1 \text{ км}$ . По 114 измерениям среднее давление  $\text{CO}_2$  на поверхности Марса оказалось равным  $5,3 \pm 0,3 \text{ мб}$  (в предположении, что атмосфера изотермическая и состоит из  $\text{CO}_2$  с примесью аргона не более 10%). Разность измеренных высот достигает 8 км — от наиболее возвышенного района Deucalionis Regio (давление  $\text{CO}_2$  3,7 мб) до наиболее низкого в центральной части пустыни Hellas (давление  $\text{CO}_2$  8,1 мб). Область Hellas можно интерпретировать как глубокую депрессию поперечником 1700 км, с понижением от краев к середине, достигающим 5,5 км; средний уклон  $\sim 0,75^\circ$ . Область Meridiani Sinus представляет собой возвышенную область, понижающуюся на 2—2,5 км к северу и югу с уклонами  $\sim 0,4^\circ$ . Выявлена система валов и долин, покрывающая Aurogae Sinus. Корреляция между визуальным альбедо различных областей Марса и их высотой полностью отсутствует.

Посредством инфракрасных спектрометров и радиометров (с каналами 8—12 и 18—25 мкм) были измерены температуры во многих точках поверхности Марса, в том числе в южной полярной шапке. Темные области оказались теплее светлых: максимальная измеренная температура  $+24^\circ \text{ С}$ . По данным «Маринера-6» температура в полдень на Марсе составляет  $+15^\circ \text{ С}$ , ночью она падает до  $-75^\circ \text{ С}$ . Минимальная температура зарегистрированная «Маринером-7» в полярной шапке, составляет  $-153^\circ \text{ С}$ , что близко к точке инея для  $\text{CO}_2$  в условиях Марса ( $-125^\circ \text{ С}$ ).

Л. В. Самсоенко

## ЛИТЕРАТУРА К ДОПОЛНЕНИЮ

1. Sky and Telescope 38, № 4, 232 (1969).
2. C. A. Barth et al., Mariner 6: ultraviolet spectrum of Mars upper atmosphere, Science 165, 1004 (1969).
3. K. C. Herr, G. C. Pimentel, Infrared absorbtions near 3 microns recorded over the polar cups of Mars, Science 166, 496 (1969).
4. K. Herr, D. Horn, J. McAffee, G. Pimentel, Martian Topography from Mariner 6 and 7 Infrared Spectra, Astron. J. 75 (8), 883 (1970).