

В. И. МОРОЗ, Л. В. КСАНФОМАЛИТИ, А. М. КАСАТКИН, Г. Н. КРАСОВСКИЙ,
Н. А. ПАРФЕНТЬЕВ, В. Д. ДАВЫДОВ, Г. Ф. ФИЛИПPOB

**ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЙ ИНФРАКРАСНОЙ
ТЕМПЕРАТУРЫ ПОВЕРХНОСТИ МАРСА НА АВТОМАТИЧЕСКОЙ
МЕЖПЛАНЕТНОЙ СТАНЦИИ МАРС-3**

(Представлено академиком Г. И. Петровым 28 VI 1972)

На борту автоматических межпланетных станций (АМС) Марс-2 и Марс-3 (искусственные спутники Марса) были установлены инфракрасные радиометры, предназначенные для измерения температуры поверхности Марса по интенсивности ее излучения в диапазоне 8–40 м. Поле зрения радиометра (краткое описание см. в работах ^(1, 2)) около 0,02 радиан (30 км при расстоянии 1500 км), точность относительных измерений температуры $\pm 2^\circ$ в диапазоне 250–270° К. Для отрезания коротковолнового (отраженного солнечного) излучения с длиной волны меньше 8 м используется фильтр InSb. Спектральная чувствительность прибора приблизительно постоянна в диапазоне 8–40 м.

Излучение поверхности планеты частично поглощается атмосферой в области фундаментальной полосы CO₂ ($\lambda \approx 15$ м) и вращательной полосы H₂O ($\lambda > 25$ м). Поглощение CO₂, по предварительной оценке, уменьшает уходящий поток на 5–10%, поглощение H₂O пренебрежимо мало (особенно в период описываемых наблюдений, характерный чрезвычайно малой влажностью атмосферы). Мы надеемся уточнить поправку за поглощение в CO₂, когда станут доступными измерения спектров Марса в области полосы 15 м на АМС Маринер 9. Заметим, что в температурной шкале эта поправка достаточно мала: например, уменьшение потока на 10% уменьшает яркостную температуру 200° до величины 195°. Лабораторная калибровка прибора производилась с помощью модели абсолютно черного тела в диапазоне 150–310° К. Оптическая ось радиометра параллельна осям других астрофизических приборов, установленных на АМС: ИК-фотометров на полосы CO₂ и H₂O, фотометра визуального диапазона, радиотелескопа.

Приборы жестко связаны с корпусом АМС и их ориентирование в постоянном направлении при измерениях обычно обеспечивается системой солнечно-звездной ориентации АМС. При подходе к перигею орбиты приборы включаются за несколько минут до пересечения лимба специальным оптическим датчиком. Оптические оси пересекают планету обычно по линии, близкой к большому кругу. Прохождение от лимба до лимба занимает около 30 мин. В дальнейшем мы будем называть след оптической оси на поверхности планеты трассой измерений. По предварительной оценке, точность, с которой определяется трасса измерений, составляет 1–2° (ареографических).

Обработка полученных измерений проведена лишь частично. Все результаты, приводимые ниже, относятся только к АМС Марс-3. Результаты имеют предварительный характер, калибровка в дальнейшем может подвергаться коррекции.

На рис. 1 показаны трассы измерений АМС Марс-3, проведенных с декабря 1971 г. по март 1972 г. Период обращения Марс-3 составляет око-

до 12 суток, расстояние в перигеяре до поверхности Марса несколько изменялось по мере эволюции орбиты и составляло приблизительно от 1000 до 1500 км. Астрофизические приборы включались во время семи проходов перигеяра: первые три прохода (15 XII, 27 XII и 9 I) — во время пылевой бури и в период ее затухания, остальные — после окончания пылевой бури. В декабре, январе и феврале трассы измерений, соответствующие последовательным датам прохождения перигеяра,

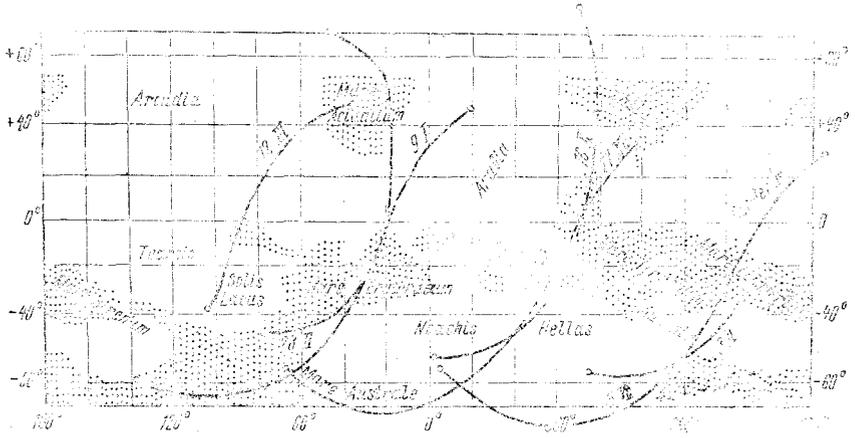


Рис. 1. Трассы измерений АМС Марс-3

сдвигались одна относительно другой приблизительно на 90° по долготе. В результате, поскольку значительные участки трасс 16 II и 28 II проходят близко к трассам 27 XII и 9 I, мы имеем измерения для одних и тех же областей Марса, полученные и во время бури (точнее во время ее последней стадии), и после бури.

На рис. 2а приводятся результаты измерений температуры вдоль трассы 28 II; поправка за поглощение в атмосфере принята (предварительно) равной 5% независимо от зенитного угла и местного времени. Теоретические яркостные температуры, вычисленные для значений интегрального альbedo $A = 0,25$ (континенты) и $A = 0,15$ (моря) при величине тепловой инерции $(Kpc)^{1/2} = 0,006 \text{ кал}\cdot\text{см}^{-2}\cdot\text{сек}^{-1/2}\cdot\text{град}^{-1}$ и коэффициенте излучения $\epsilon = 0,9$, показаны кривыми 3 и 4.

На трассе 28 II долгота λ и местное время t меняются мало, примерно в пределах двух часов, а широта φ — от -43 до 65° . Таким образом, эта трасса хорошо иллюстрирует зависимость температуры от широты. В области широт от -40 до $+30^\circ$ наблюдения в теории находятся в удовлетворительном согласии. Максимальные значения температуры соответствуют темным областям и проходят близко к кривой 4, минимальные — светлым областям и приблизительно аппроксимируются кривой 3. Измеренная разность температур между морями и континентами составляет около 10° вблизи местного полдня и может быть объяснена различием в альbedo. Вдоль той же трассы получались фотометрические профили в области $1,38 \mu$ (отраженное солнечное излучение) при помощи фотометра на полосу водяного пара (¹, ³). Имеет место детальное совпадение минимумов альbedo и максимумов температуры.

Севернее $+45^\circ$ температура T_b падает ниже 160° и одновременно фотометр визуального диапазона показывает резкое увеличение яркости. Это область северной полярной шапки. В широтной зоне от $+30$ до $+45^\circ$ температура сильно отклоняется от теоретической, и граница полярной шапки в температуре проявляется менее резко, чем ожидалось. Полярная шапка в наблюдавшейся ее части, по-видимому, представляет собой атмосферное явление (⁵).

На рис. 2б даны аналогичные кривые температур вдоль трассы 15 XII, т. е. во время пылевой бури. Видно, что в этот период яркостная температура Марса была на $10-15^\circ$ ниже, чем после окончания пылевой бури (рис. 2а). Вместе с тем контрасты темных областей (Mare Sinus Prometei Sinus и светлых (Auronia) в общем такие же, как и после бури. Вдоль этой трассы значительно меняется местное время и около 20% измерений относится к ночному времени. Относительное изменение тем-

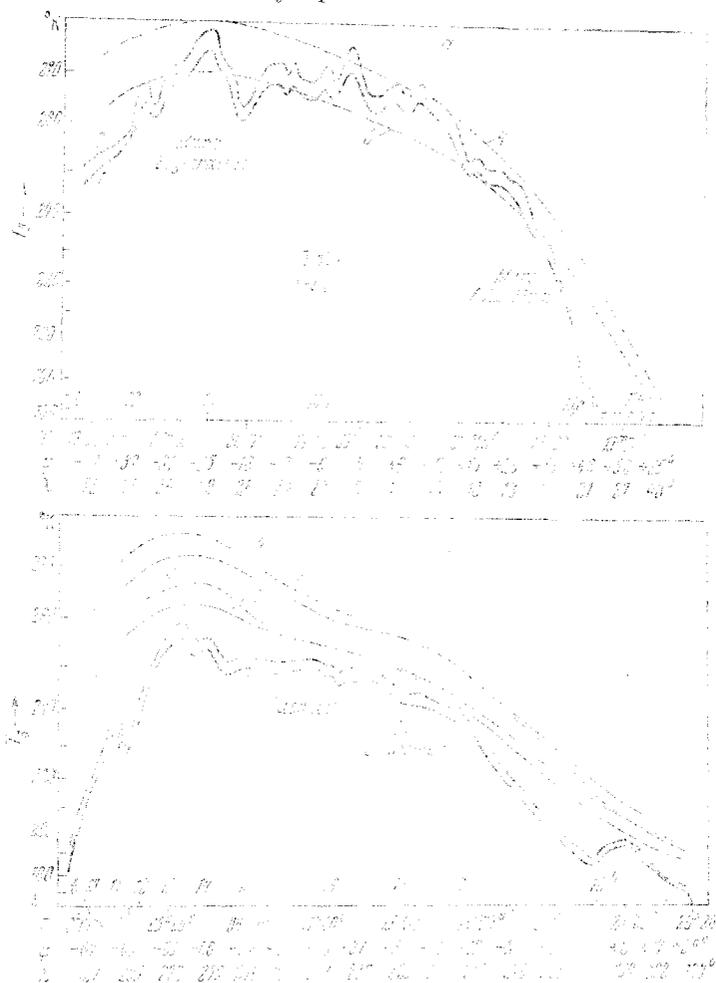


Рис. 2. Цифровая радиометрическая температура вдоль трассы 20/11/1972 (а) и 15 XII 1971 (б). 1 — измерения в радиометре, 2 — с поправкой за поглощение в атмосфере; 3 б — температурные приращения температуры для контрастов (2, 5) и морей (1, 6) или $(\Delta T)_{\text{конт}} = 0,002 \text{ мал.су}^{-2} \cdot \text{сек}^{-2} \cdot \text{град}^{-2}$ (2, 5) и $(\Delta T)_{\text{мор}} = 0,003 \text{ мал.су}^{-2} \cdot \text{сек}^{-2} \cdot \text{град}^{-2}$ (1, 6); T — Московское время, t — местное солнечное время на Марсе, τ — широта, λ — долгота. Шкала по оси ординат задана для четких

измерений от дня к ночи приблизительно соответствует ожидаемому для температуры поверхности при прозрачной атмосфере (без пылевой бури). Это обстоятельство указывает на малую оптическую толщину пылевых облаков в диапазоне 8-40 μ .

С американской АМС Маринер 9 в ноябре 1971 г. наблюдалось еще более сильное понижение температур, связанное с пылевой бурей (*). Пониженные температуры наблюдались на Марсе во время пылевой бури с Землей одним из авторов (В.И.М.) в октябре 1971 г. В середине декабря количество пыли в атмосфере уменьшилось, но все же оставалось настоль-

ко значительным, что получение изображений поверхности было невозможно для большей части планеты. Малая оптическая толща в диапазоне 8—40 м может объясняться либо малыми размерами частиц, либо их высокой прозрачностью в этих длинах волн.

В период пылевой бури Марс приобретает облачный слой, временный, но сравнимый, возможно, по оптической плотности с облачным слоем Венеры. Однако атмосфера Марса и ее облачный слой в целом во время бури является менее прозрачным для солнечного излучения, чем для планетарного. Значительная часть солнечной энергии захватывается атмосферой, температура ее повышается^(6, 7), а температура поверхности падает по сравнению с нормальными условиями. Такой эффект можно назвать «антипарниковым», чтобы подчеркнуть отличие от парникового эффекта в атмосфере Венеры.

Пыль, по-видимому, и в условиях нормальной прозрачности марсианской атмосферы играет заметную роль в ее тепловом режиме. Как известно, теоретические расчеты⁽⁸⁾ приводят к адиабатическому градиенту в нижних слоях марсианской атмосферы и конвекции (в дневное время). В то же время измерения на АМС Маринер 6 и 7 по радиорефракции выявили субадиабатический градиент⁽⁹⁾. Это различие можно объяснить постоянным присутствием в атмосфере аэрозолей, поглощающих некоторое количество солнечного излучения. Роль пыли в тепловом режиме марсианской атмосферы отмечалась и ранее⁽¹⁰⁾, однако только в результате наблюдений во время пылевой бури мы получили уверенное подтверждение этого.

Параметр тепловой инерции $(k\rho c)^{1/2} = 0,006 \text{ кал} \cdot \text{см}^{-2} \cdot \text{сек}^{-1/2} \cdot \text{град}^{-1}$ хорошо согласуется с результатами наземных наблюдений⁽¹¹⁾ и радиометрических измерений на АМС Маринер 6 и 7⁽¹²⁾. В некоторых случаях вариации температуры вдоль трасс не могут быть объяснены изменением только альбедо. Необходимо предположить, что меняется также и тепловая инерция. Примером может служить компактная темная область Serberus, которую трасса 15 XII пересекает после захода Солнца. Температура здесь (см. рис. 2б) возрастает примерно на 10° . Это объясняется увеличением тепловой инерции приблизительно в 1,5 раза (дополнительно к уменьшению альбедо), которое может быть связано с более грубой структурой поверхностного слоя, чем в континентах (более крупные частицы; может быть, больше выходов скальных пород).

Авторы выражают благодарность В. С. Жегулеву, Л. С. Кременчугскому, Э. Н. Лучниковой, Г. Н. Петрову, Н. В. Темной, В. Д. Филинкову, К. А. Цою, О. В. Яблонской и остальным лицам, оказавшим существенную помощь на различных этапах выполнения этой работы.

Институт космических исследований
Академии наук СССР
Москва

Поступило
29 V 1972

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ В. И. Мороз, Л. В. Ксанфомалити, Вести. АН СССР, № 9, 10 (1972).
² Л. В. Ксанфомалити, Приборы и техн. эксп., № 4, 192 (1971). ³ В. И. Мороз, А. Э. Наджип и др., ДАН, 208, № 4 (1973). ⁴ S. C. Chase, jr., H. Hatzenberger et al., Science, 175, 309 (1972). ⁵ В. И. Мороз, Л. В. Ксанфомалити и др., Космические исследования, 10, № 6, 925 (1972). ⁶ R. A. Hanel, B. J. Conrath et al., Science, 175, 305 (1972). ⁷ A. J. Kliore, D. L. Cain et al., Science, 175, 313 (1972). ⁸ P. Gierash, R. M. Goody, Planet. Space Sci., 16, 615 (1968). ⁹ A. Kliore, G. Fjeldbo, B. L. Seidel, XIII Space Sci. Symp. COSPAR, 1970. ¹⁰ В. И. Мороз, Физика планет, «Наука», 1967. ¹¹ D. Morrison, C. Sagan, J. B. Pollack, Icarus, 11, 36 (1969). ¹² G. Neugebauer, G. Münch et al., Science, 166, 98 (1969).