Доклады Академии наук СССР
1973. Том 208, № 5

УДК 523.43 *АСТРОНОМИЯ*

В. И. МОРОЗ, Л. В. КСАНФОМАЛИТИ, А. М. КАСАТКИН,
Б. С. КУНАШЕВ, К. А. ЦОЙ

ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВЫСОТ НА МАРСЕ ПО ПОЛОСАМ CO_2 λ 2 μ С БОРТА 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) установлен фотометр, измеряющий интенсивность отраженного планетой солнечного излучения в полосах CO_2 $\lambda = 2{,}06$ и $\lambda = 2{,}01\mu$ и в непрерывном спектре около $\lambda = 2{,}25\mu$. CO_2 является основной составляющей атмосферы Марса ([1–3]) и количество его в вертикальном столбе определяет давление у поверхности. По интенсивности полос CO_2 можно определить давление в разных областях Марса и, пользуясь барометрической формулой, относительные высоты этих областей.

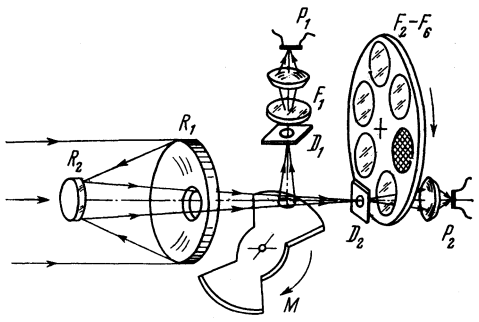

Рис. 1. Оптическая схема фотометра

Такой метод определения высот на Марсе использовался ранее в наземных наблюдениях ([4–7]), но пространственное разрешение при этом было 500–1000 км. На пролетных автоматических межпланетных станциях (АМС) Маринер 6 и Маринер 7 были получены профили высот отдельных участков Марса с разрешением на порядок более высоким ([8]). На американской АМС Маринер 9 аналогичный эксперимент не проводится.

Оптическая схема фотометра приводится на рис. 1. Кассегреновский объектив R_1, R_2 (диаметр 40 мм, светосила 1 : 15) фокусирует излучение от планеты на два сернисто-свинцовых фотосопротивления P_1, P_2. Пучок разделяется с помощью вращающегося зеркального модулятора M. Одно из фотосопротивлений P_1 регистрирует излучение только в непрерывном спектре и служит датчиком системы автоматической регулировки усиления, исключающей в широком диапазоне зависимость выходного сигнала прибора от яркости планеты. Перед этим фотосопротивлением установлен интерференционный фильтр F_1 на длину волны 2,25μ. Перед вторым фотосопротивлением последовательно, с периодом 0,5 сек., включаются фильтры $F_2 - F_6$ (2,014; 2,050; 2,067; 2,075; 2,25μ), четыре из которых находятся в области полос CO_2, пятый в непрерывном спектре. Отношения отсчетов с фильтрами в полосе CO_2 к отсчету с фильтром 2,25μ являются мерой эквивалентной ширины полосы 2,06μ и связаны с ней лабораторными калибровками. Ширина фильтров около 200 Å по уровню 0,5. Поле зрения прибора 0,01 радиан (15 км при расстоянии 1500 км), однако измерения осредняются по большей площади, так как реальная процедура обработки состоит в осреднении отсчетов за 4 последовательных оборота, занимающих 12 сек, в течение которых АМС проходит около 50 км. Эти группы регистрируются с интервалом 36 сек., что соответствует примерно 150 км вблизи перицентра.

Лабораторная калибровка прибора производилась с помощью газовой кюветы длиной 2,7 м, наполняемой CO_2 при давлениях от 0 до 4 атм. Эквивалентные ширины полосы CO_2 как в марсианском, так и в лабораторном спектрах, находятся на корневой части кривой роста. Давление на Марсе

$$p_{♂} = p_0 \left(\frac{2l}{H\eta}\right)^{1/2} \left(\frac{T_{♂}}{T_0}\right)^{3/4} C, \qquad (1)$$

где p_0 — давление в лаборатории, дающее ту же эквивалентную ширину полосы, l — длина кюветы, H — шкала высот марсианской атмосферы, η — воздушная масса, $T_{♂}$ и T_0 — температура в марсианской атмосфере и в кювете соответственно. Предполагается, что атмосфера Марса изотермична и состоит из чистого CO_2. C — поправочный коэффициент зависящий от различной степени перекрытия линий при лабораторных и марсианских давлениях и влияния температуры на профиль полосы. Поскольку он пока не определен точно, временно используется значение $C = 0{,}56$, позволяющее согласовать наземные измерения эквивалентной ширины полосы 2,06μ с давлением 6 мбар, принятым в качестве среднего. Для определения относительных высот существенны только отношения давления в разных точках планеты. Разность высот ΔZ_{12} между точками *1* и *2* с давлениями p_1 и p_2 соответственно равна

$$\Delta Z_{12} = H \ln \frac{p_1}{p_2} = H \ln \left[\frac{p_{01}}{p_{02}} \left(\frac{\eta_2}{\eta_1}\right)^{1/2} \left(\frac{T_{♂1}}{T_{♂2}}\right)^{3/4}\right], \qquad (2)$$

где p_{01} и p_{02} — лабораторные давления, дающие те же эквивалентные ширины, η_1 и η_2 — воздушные массы, $T_{♂1}$ и $T_{♂2}$ — температуры атмосферы в сравниваемых точках.

Оптическая ось фотометра параллельна оптическим осям других астрофизических приборов, установленных на АМС. При прохождении зоны перицентра фотометр работал по общей для всех этих приборов программе ([9]).

Обработка измерений, полученных к настоящему моменту, проведена лишь частично. Все результаты, приводимые ниже, относятся только к АМС Марс-3. Результаты имеют предварительный характер, в дальнейшем могут потребоваться некоторые поправки в калибровке и методике обработки.

Измерения производились вдоль трасс (([9]), рис. 1). На рис. 2*а* приведен профиль высот вдоль трассы 16 II 1972. По оси абсцисс отложены московское время T и координаты φ и λ, по оси ординат — эквивалентная ширина EW, давление p и высота Z. Принята шкала высот 10 км. Высоты отсчитываются от уровня 6 мбар. В дальнейшем придется ввести коррекцию за изменение шкалы высот вдоль трассы, поскольку диапазон изменений широт велик и температура атмосферы вдоль трассы должна значительно меняться. Трасса проходит через северную оконечность Hellespontus, северо-восточный край Hellas, темные области Iapigia и Syrtis Major, через Meroe и в районе Umbra захватывает северную полярную шапку. На рис. 2, кроме профиля высот, приводятся эквивалентная ширина ($\propto p\sqrt{\eta}$), давление p вдоль трассы и яркость B в области 1,38μ.

Самой высокой областью является Syrtis Major (около 3,5 км), самыми низкими окраина Hellas (−1 км) и район к северу от Syrtis Major (от 0 до +1 км).

Резкое возрастание эквивалентной ширины около широты 50°, возможно, связано с поглощением в твердом материале полярной шапки, а не с усилением атмосферной полосы. Поглощение около 2μ дают как CO_2, так и H_2O в твердой фазе, однако низкие температуры (<160° K) свидетельствуют в пользу CO_2.

На рис. 2 приведены для сравнения высоты, определенные наземной спектроальтиметрией ([4]), наземной радиолокацией ([10, 13]), и и.-к. спектрометром АМС Маринер 7 ([8]) и у.-ф. спектрометром АМС Маринер 6 и 7

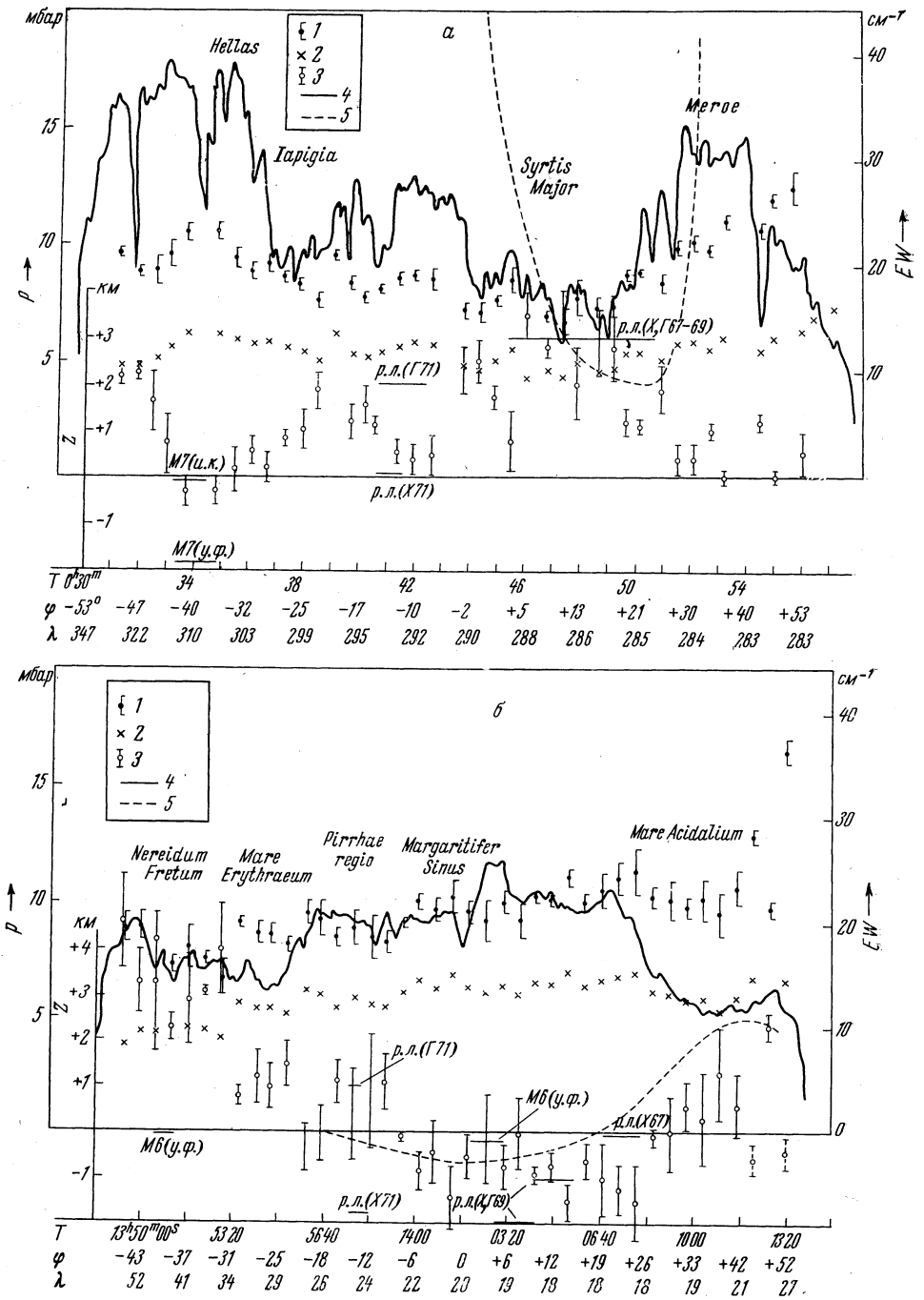

Рис. 2. Эквивалентная ширина *EW* (*1*) полосы CO_2 $\lambda = 2{,}06\mu$, давление p (*2*) и высота *Z* (*3*) относительно уровня с давлением 6 мбар и яркость B в области 1,38μ (*4*) по измерениям вдоль трассы 16 II 1972 (*а*) и 28 II 1972 (*б*). *5* — наземные определения высот по полосе CO_2 1,05μ ([4]), *М7* (и.-к.) и *М7* (у.-ф.) — высоты по данным Маринера 7 по полосе 2μ и по яркости в у.-ф. области соответственно ([8], [16]), *р.л.* — определения высот наземной радиолокацией 1967—1969 и 1971 гг., *X* — Хайстек ([10], [12]), *Г* — Голдстоун ([11], [13])

([14]). Значения высот более 10 км, которые отмечают Белтон и Хантен ([4]), в этом районе не подтверждаются. Согласие с другими данными удовлетворительное, особенно если учесть, что нуль-пункты двух независимых радиолокационных определений 1971 г. не привязаны к уровню 6 мбар и

даже друг к другу. Внутренняя точность наших измерений составляет ±0,4 мбар по давлению или ±0,7 км по высоте на уровне 6 мбар.

На участках трассы 27 XII 1971 (период пылевой бури), проходящих близко к трассе 16 II 1972, эквивалентная ширина получилась заметно меньше, ей соответствуют давления 2—3 мбар и высоты около 10 км, если интерпретировать эти эквивалентные ширины по формулам (1), (2). Хотя видимость деталей поверхности к 27 XII 1971 заметно улучшилась (контрасты в красных лучах между темными и светлыми областями увеличились), количество пыли в атмосфере было все еще большим. Без сомнения, большие высоты и низкие давления, измеренные 27 XII 1971, относятся к верхней границе облаков. Впервые уменьшение эквивалентной ширины полос CO_2 во время пылевой бури один из авторов (В. И. Мороз) обнаружил в результате наземных наблюдений 13 и 14 X 1971 г. ([15]). Наблюдались полосы 1,58 и 1,61μ. Аналогичный эффект в полосе 1,05μ нашли Паркинсон и Хантен ([16]) в конце ноября 1971 г. Наземные наблюдения ([15], [16]) показали, что в начале декабря эквивалентные ширины вернулись к нормальным значениям, однако в это время имело место, по-видимому, лишь временное увеличение прозрачности. Сравнение значений эквивалентной ширины, измеренных советской АМС Марс-3 27 XII 1971 и 16 II 1972 в близких районах, показывает, что в конце декабря здесь эффективный уровень формирования полосы CO_2 $\lambda = 2{,}06\mu$ был на 7—10 км выше поверхности. Значения эквивалентной ширины, измеренные 27 XII 1971, почти не зависели от воздушной массы (в отличие от данных 16 II 1972), что указывает на размытый характер верхней границы облаков в этот период.

На рис. 2*б* приведен профиль высот вдоль трассы 28 II 1972. Она проходит через Nereidum Fretum, Mare Erythraeum, Margaritifer Sinus, Chrise, Mare Acidalium. Северный участок ее также находится в области полярной шапки и здесь опять наблюдается аномальное увеличение эквивалентной ширины. В экваториальной зоне планеты высоты значительно ниже, чем на трассе 16 II 1972, что согласуется с радиолокацией и наземной спектроальтиметрией ([4]). Максимальный интервал изменения высот на трассах 16 II и 28 I 1972 составляет около 6 км. В области широты — 40° Маринер 6 дал на 3 км меньшие высоты по у.-ф. яркости атмосферы, чем по нашим измерениям. Это может объясняться локальной у.-ф. дымкой в данном районе во время измерения на АМС Маринер 6. Аналогично может объясняться и разница высот в районе Hellas на трассе 16 II 1972 между инфракрасными (нашими и Маринер 7) и ультрафиолетовыми (Маринер 7) определениями.

Сопоставление высотных и фотометрических профилей подтверждает, что четкой зависимости между высотой и коэффициентом яркости нет, моря могут быть как низкими, так и высокими областями, континенты тоже.

Институт космических исследований
Академии наук СССР
Москва

Поступило
29 V 1972

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

[1] H. Spinrad, R. A. Schorn et al., Astrophys. J., **146**, 331 (1966). [2] M. J. S. Belton, A. L. Broadfoot, D. M. Hunten, J. Geophys. Res., **73**, 4795 (1968). [3] В. И. Мороз, Д. П. Крюйкшенк, Астрон. журн., **48**, 1038 (1971). [4] M. J. S. Belton, D. M. Hunten, Icarus, **15**, 204 (1971). [5] M. J. S. Belton, D. M. Hunten, Science, **166**, 225 (1969). [6] R. A. Wells, Science, **166**, 862 (1969). [7] В. И. Мороз, Н. А. Парфентьев и др., Астрон. журн., **48**, 790 (1971). [8] K. C. Herr, D. Horn et al., Astron. J., **75**, 883 (1970). [9] В. И. Мороз, Л. В. Ксанфомалити и др., ДАН, **208**, № 4 (1973). [10] A. E. Rodgers, M. E. Ash et al., Radio Science, **5**, 465 (1970). [11] R. M. Goldstein et al., Radio Science, **5**, 475 (1970). [12] G. H. Pettengill, A. E. Rodgers, I. I. Shapiro, Science, **174**, 1321 (1972). [13] G. S. Downes, R. M. Goldstein et al., Science, **174**, 1326 (1972). [14] C. A. Bart, C. W. Hord, Science, **171**, 197 (1971). [15] В. И. Мороз, О. Г. Таранова, Астрон. цирк., № 697 (1972). [16] T. D. Parkinson, D. M. Hunten, Science, **175**, 323 (1972).