Доклады Академии наук СССР
1973. Том 208, № 4

УДК 523.43

АСТРОНОМИЯ

В. И. МОРОЗ, А. Э. НАДЖИП, А. Б. ГИЛЬВАРГ, Ф. А. КОРОЛЕВ, В. С. ЖЕГУЛЕВ

ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЙ СОДЕРЖАНИЯ H_2O В АТМОСФЕРЕ МАРСА НА АВТОМАТИЧЕСКОЙ МЕЖПЛАНЕТНОЙ СТАНЦИИ МАРС-3

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

На автоматических межпланетных станциях (АМС) Марс-2 и Марс-3 (искусственные спутники Марса) установлен прибор ИВ-2, предназначенный для измерения содержания водяного пара в атмосфере планеты. Такие измерения имеют следующие серьезные преимущества по сравнению с наземными наблюдениями ([1–7]): 1) измерения ведутся с близкого расстояния (1000–1500 км в перицентре орбиты) и пространственное разрешение составляет около 5–10 км, на два порядка лучше, чем с Земли; 2) полностью снимаются все трудности, связанные с теллурическим поглощением, и могут измеряться меньшие количества H_2O, чем с Земли.

Прибор ИВ-2 (рис. 1) измеряет содержание H_2O в атмосфере Марса по величине поглощения в центре полосы 1,38 μ. Полоса H_2O $\lambda = 1{,}38$ μ образуется в спектре отраженного солнечного излучения и ее эквивалентная ширина практически не зависит от вертикального распределения температуры в атмосфере планеты. В этом состоит принципиальное отличие ИВ-2 от прибора «Ирис», используемого для той же цели на американской станции Маринер-9 ([8]). «Ирис» регистрирует вращательную полосу H_2O в области 25–50 μ, интенсивность которой настолько сильно зависит от вертикального распределения температуры, что полоса может наблюдаться и в поглощении, и в эмиссии ([9]).

Так как ожидаемая эквивалентная ширина даже наиболее сильных линий в центре полосы 1,38 μ в спектре Марса мала, для ее измерения используется модуляционный метод. Интерференционно-поляризационный фильтр, состоящий из пластины исландского шпата (двупреломляющий кристалл *5*) и двух поляроидов (*4*, *6*), и интерференционный фильтр *3* выделяют три линии в центре полосы: 13788, 13807 и 13827 Å. При вращении второго поляроида *6* максимумы пропускания интерференционно-поляризационного фильтра периодически сменяются минимумами и интенсивность на выходе прибора при наличии линий поглощения оказывается модулированной. Амплитуда модулированной составляющей сигнала зависит от энергии, поглощенной в линиях. Оптическая схема и электронная блок-схема фотометра приводятся на рис. 1; объектив кассегреновский, диаметр 80 мм, светосила 1 : 20, угловое поле зрения 0,005 радиан (6 км при расстоянии 1500 км); приемник излучения – сернисто-свинцовое фотосопротивление.

Неподвижный поляроид *4* ориентирован по отношению к главной оси двупреломляющего кристалла *5* под углом, несколько отличающимся от 45°. В результате появляется вторая модулированная компонента, амплитуда которой определяется, главным образом, непрерывным спектром. Существенно, что по фазе она одвинута на 90° по отношению к первой и соответствующие электрические сигналы легко разделяются фазовыми детекторами *12*, *12′*. На выходе прибора измеряются два напряжения, отношение которых зависит от эквивалентной ширины линий поглощения. Для проверки работы прибора в полете служит контрольная лампа *19*, которая

включается на несколько минут перед пересечением оптической осью лимба планеты и после прохождения терминатора.

Прибор калибровался в лаборатории с помощью лампы с матовым стеклом, сигналы от которой измерялись при различных расстояниях до прибора. Влажность в помещении контролировалась. Был установлен коэффициент пропорциональности между отношением выходных напряжений n и

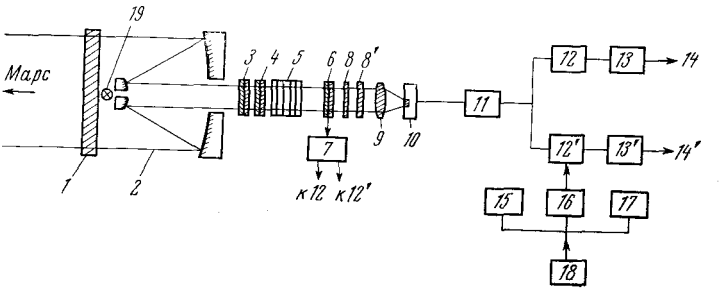

Рис. 1. Оптическая схема и электрическая блок-схема прибора ИВ-2. *1* — герметичное окно, *2* — кассегреновский телескоп, *3* — интерференционный фильтр, *4* — неподвижный поляроид, *5* — двупреломляющий кристалл, *6* — вращающийся поляроид, *7* — датчик положения поляроида *6*, *8* — фильтр Si, *8′* — фильтр ADP, *9* — линза Фабри, *10* — PbS-фотосопротивление, *11* — предварительный усилитель, *12*, *12′* — фазовые детекторы, *13*, *13′* — усилитель постоянного тока, *14*, *14′* — выходы на телеметрию, *15* — стабилизатор скорости вращения поляроида, *16* — преобразователь напряжения, *17* — схема стабилизации температуры кристалла, *18* — бортовое питание, *19* — контрольная лампа

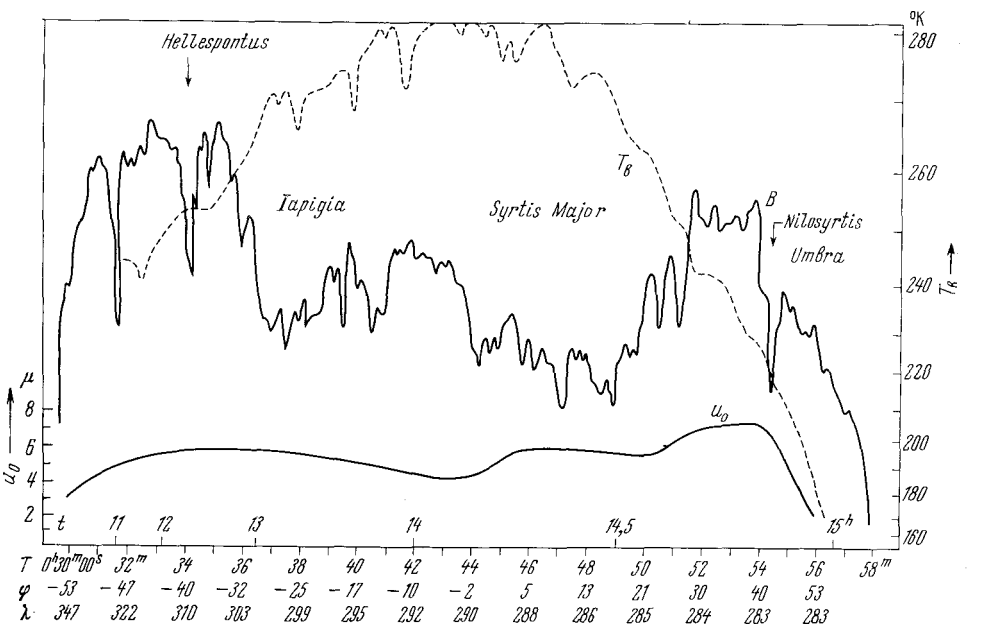

Рис. 2. Содержание H_2O, фотометрический разрез и яркостная температура поверхности вдоль трассы 16 II 1972. По оси абсцисс t — местное время на Марсе, T — московское время, φ — широта, λ — долгота подспутниковой точки

эквивалентной шириной W линии 13827 Å. Для этой линии зависимость интенсивности от количества водяного пара на луче зрения u была вычислена для давления $p = 13$ мбар и уширения молекулами CO_2 в работе ([10]). Мы экстраполировали эти данные к марсианской атмосфере, предполагая, что она состоит из чистого CO_2, эффективное давление равно 3 мбар (поло-

вина поверхностного) и что эквивалентная ширина подчиняется закону

$$W \propto u^{0,5} p^{0,3}, \qquad (1)$$

найденному в работе ([11]) для всей полосы в целом.

Полученная этим способом калибровочная кривая является предварительной и будет в дальнейшем уточняться дополнительными расчетами и лабораторными измерениями. Нижний предел содержания водяного пара, который может быть обнаружен прибором ИВ-2, составляет около 0,5 μ осажденной воды на луче зрения. Количество водяного пара в вертикальном столбе равно

$$u_0 = u / \eta, \qquad (2)$$

где η — воздушная масса, а нижний предел u_0 составляет около 0,1 — 0,2 μ. Это намного лучше, чем получается при наблюдениях с Земли посредством больших телескопов и кудэ-спектрографов (инструментальный предел по u_0 около 10 μ осажденной воды). Во время измерений оптическая ось прибора остается параллельной самой себе. Перед прохождением АМС перицентра она входит на лимб в южном полушарии и пересекает планету по трассе, идущей на север с некоторым наклоном к меридиану (см. ([11]), рис. 1).

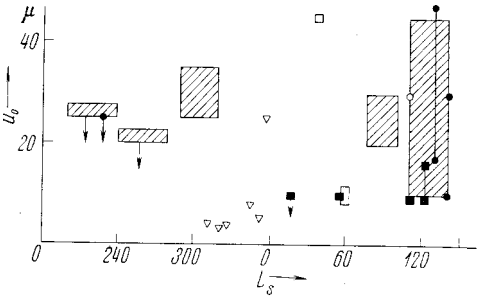

Рис. 3. Определения содержания H_2O по наземным наблюдениям и измерениям с борта АМС Марс-3. Треугольники — максимальное содержание H_2O, измеренное по каждой из трасс АМС Марс-3, остальные точки — наземные наблюдения по ([3])

Обработка измерений, полученных к настоящему моменту, проведена лишь частично. Ниже приводятся результаты, полученные на АМС Марс-3. Период обращения его составлял около 12 суток. Прибор включался во время прохождений перицентра 15 и 27 XII 1971, 9 I, 3 II, 16 II, 28 II и 12 III 1972 и нормально функционировал в течение каждого сеанса. Сеанс измерений 12 III проводился не по обычной программе, приборы были включены после пересечения лимба и выключены до пересечения терминатора, поэтому отсутствует контроль нуль-пункта и чувствительности, однако эти величины были восстановлены по корреляции между ними и температурой, найденной из предыдущих измерений.

На рис. 2 показано распределение H_2O вдоль трассы. Кривая u_0 дает содержание H_2O в вертикальном столбе. Эта величина нигде не превышает 8μ ($u = 8 \cdot 10^{-4}$ г·см$^{-2}$) осажденной воды, а в области полярной шапки падает ниже 1 μ.

Здесь же показаны яркостные температуры $T_в$, измеренные инфракрасным радиометром Марса-3, и фотометрический профиль B в непрерывном спектре в области 1,38 μ. На широтах около 50° трасса вступает в область северной полярной шапки и водяной пар здесь практически исчезает. Аналогичная кривая была ранее опубликована для трассы 28 II 1972 ([11]).

В сеансе 12 III 1972 содержание H_2O достигло величины 25 μ, на всех предыдущих трассах оно оказалось меньше 8 μ. Здесь же в некоторых случаях даны инфракрасные яркостные температуры по измерениям с инфракрасным радиометром вдоль тех же трасс ([12]). Внутренняя точность измерений содержания H_2O в вертикальном столбе находится в пределах от ±0,3 до ±0,5 μ осажденной воды.

На трассах 15 XII и 27 XII имело место видимое уменьшение H_2O к экватору. Оно объясняется, вероятно, тем, что эти измерения проводились во время пылевой бури; мощность пылевых облаков возрастает к экватору и в низких широтах они больше ослабляют полосы поглощения.

В некоторых случаях имеется тенденция к уменьшению, иногда до 2 раз, количества H_2O над темными областями по сравнению с соседними континентами. Не обнаружено каких-либо малых областей («оазисов») с повышенной влажностью атмосферы. Содержание H_2O, измеренное с декабря по февраль, является необычно малым даже для такой сухой планеты, как Марс. На рис. 3 приводятся совместно результаты наземных определений содержания H_2O в 1963–65 гг. и наших в зависимости от ареоцентрической долготы Солнца L_S ($L_S = 0$ соответствует весеннему равноденствию в северном полушарии). Наземные определения дают от 10 до 50 μ осажденной воды, в некоторых случаях получается только верхняя граница. Этот разброс, без сомнения, отражает реальную переменность содержания H_2O в марсианской атмосфере.

Инфракрасные температуры, приведенные на рис. 2, относятся к поверхности и не позволяют непосредственно судить об относительной влажности. Если принять температуру атмосферы равной 200° К, то 10 μ осажденной воды соответствуют относительной влажности 3%. Насыщение достигается только в области северной полярной шапки, где температуры атмосферы существенно ниже.

По-видимому, уменьшенным содержанием H_2O в атмосфере можно объяснить падение плотности водородной короны Марса в период наблюдений по сравнению с 1969 г., когда она измерялась на Маринерах 6 и 7 ([13]).

Оценки содержания H_2O по измерениям на Маринере 9 опубликованы лишь в очень отрывочной форме, но те, что нам известны ([9, 14]), также говорят об очень малой влажности марсианской атмосферы в период наблюдений.

Кроме содержания H_2O в атмосфере, прибор ИВ-2 дает детальные фотометрические разрезы (рис. 2, *В*). Результаты будут опубликованы.

Авторы выражают благодарность В. Г. Буткевичу, В. Г. Бухину, Г. А. Казанцеву, А. Ю. Клементьевой, Ю. А. Малюгину, Т. Ф. Мещеряковой, К. А. Цою и остальным лицам, оказавшим существенную помощь на различных этапах выполнения этой работы.

Поступило
29 V 1972

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

[1] L. D. Kaplan, G. Münch, H. Spinrad, Astrophys. J., **139**, 1 (1964). [2] R. A. Schorn, H. Spinrad et al., Astrophys. J., **147**, 743 (1967). [3] R. A. Schorn, Planetary Atmospheres, 1971, p. 223. [4] S. J. Little, ibid., p. 241. [5] R. G. Tull, ibid., p. 237. [6] R. A. Schorn, C. B. Farmer S. J. Little, Icarus, **11**, 283 (1969). [7] T. Owen, H. P. Mason, Science, **165**. 893 (1969.) [8] R. A. Hanel et al., Icarus, **12**, 48 (1970). [9] R. A. Hanel, B. J. Conrath et al., Science, **175**, 305 (1972). [10] C. B. Farmer, D. D. La Porte, Icarus, **16**, 34 (1972). [11] В. И. Мороз, Л. В. Ксанфомалити, Доклад, представленный XV конгрессу КОСПАР, 1972 (препринт № Д142, ИКИ АН СССР). [12] В. И. Мороз, Л. В. Ксанфомалити и др., ДАН, **208**, № 2 (1973). [13] В. Г. Курт и др., Доклад представленный XV конгрессу КОСПАР, 1972. [14] E. Burguss, New Scientist, 24 Febr., 1972.