

УДК 523.42

АСТРОНОМИЯ

М. Я. МАРОВ, В. С. АДЪЕВСКИЙ, В. В. КЕРЖАНОВИЧ,
М. К. РОЖДЕСТВЕНСКИЙ, Н. Ф. БОРОДИН, О. Л. РЯБОВ

ИЗМЕРЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ, ДАВЛЕНИЯ И СКОРОСТИ ВЕТРА В АТМОСФЕРЕ ВЕНЕРЫ НА АВТОМАТИЧЕСКОЙ МЕЖПЛАНЕТНОЙ СТАНЦИИ «ВЕНЕРА-8»

(Представлено академиком Г. И. Петровым 20 II 1973)

Автоматическая межпланетная станция (АМС) «Венера-8» достигла планеты Венера 22 VI 1972 г. и после 55-минутного спуска на парашюте в атмосфере в $12^h32^m16^s$ по московскому времени * произвела посадку на

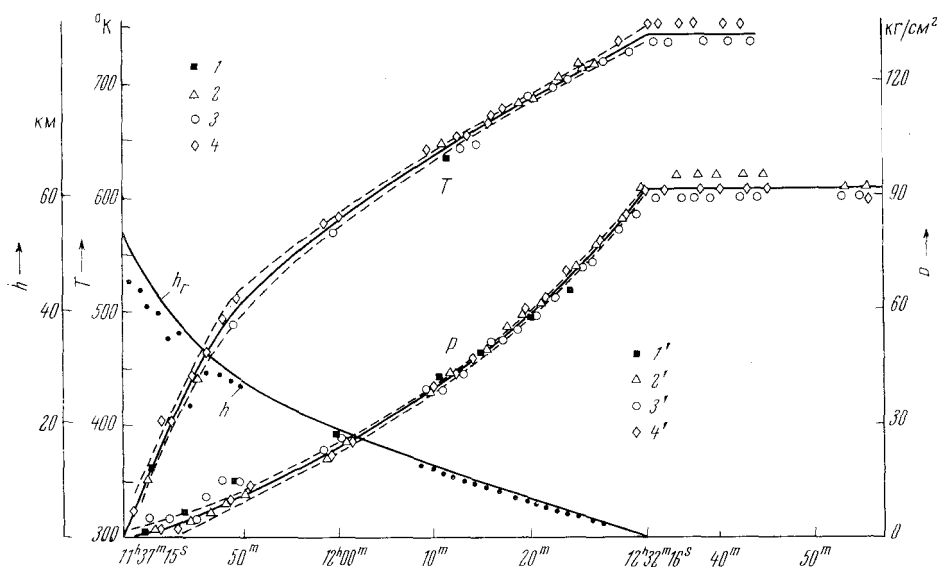


Рис. 1. Измеренные температура T (1—4), давление P (1'—4') и высота h над поверхностью в зависимости от времени. Обозначения точек соответствуют измерениям отдельных датчиков. Сплошные линии — полиномиальные кривые, рассчитанные с учетом точности измерений датчиков, пунктир — 95% доверительные интервалы ($\sigma_{T_1} = 8,1$; $\sigma_{P_1} = 1,2$ до момента разрифовки парашюта; $\sigma_{T_2} = 2,4$; $\sigma_{P_2} = 1,4$ после разрифовки). h_r — расчет высоты по уравнению гидростатики

поверхность планеты, на ее освещенной стороне, вблизи экватора, в 500 км от утреннего терминатора.

Прием телеметрической информации со спускаемого аппарата начался в $11^h37^m27^s$ и продолжался в течение всего времени спуска в атмосфере и пятидесяти минут работы аппарата на поверхности Венеры.

Автоматическая станция «Венера-8» по конструкции и принципиальной компоновочной схеме в целом аналогична станциям «Венера-4—7».

* Здесь и далее используются условные значения времени, соответствующие приему радиосигналов на Земле. Истинное время получается из указанного вычитанием $t_3 = 3$ мин. 36 сек., где t_3 — время распространения сигнала с расстояния $65,3 \cdot 10^6$ км.

На спускаемом аппарате станции «Венера-8» был установлен комплекс приборов для измерения температуры и давления на участке парашютного спуска и на поверхности планеты. Для измерения температуры использовались 4 термометра сопротивления с измерительными шкалами 320—860° K, 480—710° K, 670—810° K и 290—880° K. Измерение давления проводилось 3 манометрами anerоидного типа и одним датчиком емкостного типа. Их пределы измерений составляли 0—200 кг/см², 0—150 кг/см²,

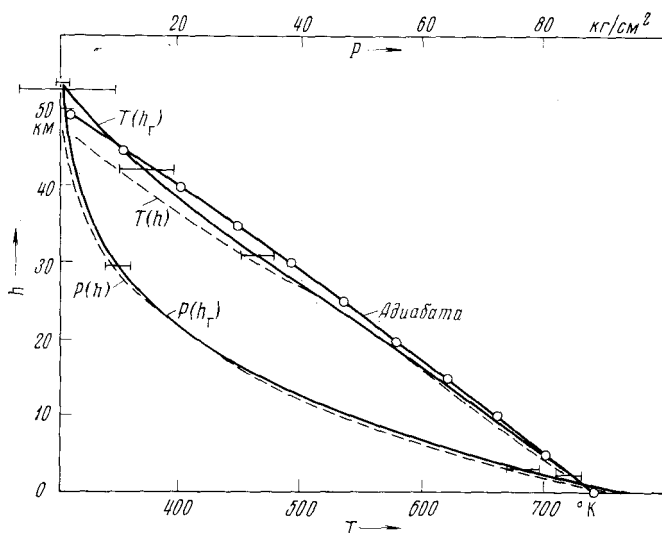


Рис. 2. Зависимость температуры T и давления P атмосферы от высоты: $T(h)$ и $P(h)$ — с привязкой по данным высотомера; $T(h_r)$, $P(h_r)$ — с привязкой по расчетным значениям высоты

0—100 кг/см² и 0—80 кг/см² при средней погрешности $\pm 1,5\%$ от измерительного диапазона.

С целью привязки результатов измерений к высоте на участке спуска на спускаемом аппарате был установлен импульсный радиовысотомер с автоматической системой адаптации. Среднеквадратическая погрешность измерения высоты оценивается величиной $\sigma_h = 40 \pm 3,4 \cdot 10^{-3} h$ (м).

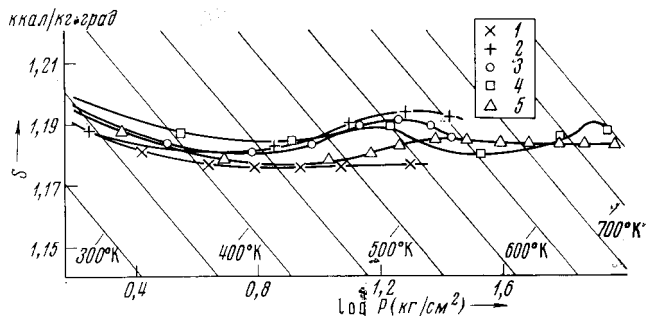
Для исследования динамики атмосферы Венеры так же, как и при полетах АМС «Венера-4—7», в течение всего времени приема сигнала со спускаемого аппарата по доплеровскому сдвигу частоты производились измерения радиальной скорости — составляющей скорости в проекции на направление Венера — Земля, имевшее угол δ с местной вертикалью в районе спуска около 37,3°. Несущая частота бортового передатчика формировалась из частоты высокостабильного термостатированного задающего генератора. Систематическая погрешность измерений оценивалась на основании данных калибровок частоты генератора, проведенных во время полета АМС, и составляла менее 1 м/сек.

Радиальная компонента скорости спускаемого аппарата изменялась от 130—140 м/сек в начале до 6,4 м/сек в конце парашютного спуска. В 11^h48^m40^s было зарегистрировано изменение скорости, соответствующее разрифовке парашюта и увеличению площади купола, а в 12^h32^m16^s — скачок частоты на 20 гц, соответствующий посадке аппарата на поверхность Венеры.

Данные измерений температуры T , давления P и высоты h в зависимости от времени t показаны на рис. 1. Эти измерения дают возможность получить высотные профили параметров атмосферы над поверхностью на освещенной стороне планеты в месте посадки без каких-либо предположений ($T(h)$ и $P(h)$ на рис. 2). Вместе с тем, располагая измерениями $T(t)$

и $P(t)$, для расчета скорости спуска и высоты над поверхностью можно воспользоваться также уравнением гидростатики (при среднем молекулярном весе $\mu = 43,4$, отвечающем измеренному газовому составу атмосферы). Определенная из уравнения гидростатики зависимость $h_T(t)$ (рис. 1) и величина пройденного пути от момента раскрытия парашюта до поверхности (54 ± 3 км) несколько отличаются от результатов измерения высоты аппарата над поверхностью при помощи бортового радиовысотомера.

Рис. 3. Энтропийная диаграмма, суммирующая результаты измерений параметров атмосферы на АМС «Венера»: 1 — «Венера-4»; 2 — «Венера-5»; 3 — «Венера-6»; 4 — «Венера-7»; 5 — «Венера-8»



томера. Это отличие наиболее существенно на высотах выше 20 км. Если исключить возможность того, что погрешность измерений на больших высотах выходит за пределы указанной погрешности прибора, то измеренный характер $h(t)$ можно было бы объяснить за счет спуска аппарата над пологим склоном при его горизонтальном сносе ветром. При измеренной горизонтальной скорости ветра за время спуска от момента раскрытия парашюта до высоты 25 км аппарат был снесен приблизительно на 40 км, что соответствует снижению над склоном в 7° . Скорость спуска аппарата «Венера-8» относительно поверхности, рассчитанная с использованием уравнения гидростатики, изменялась от 70 м/сек после раскрытия парашюта до 9,0 м/сек в момент посадки.

На диаграмме энтропия — давление для смеси газов, состоящей из 97% CO_2 и 3% N_2 (рис. 3), показаны кривые изменения состояния газа по экспериментальным данным, полученным на АМС «Венера-4–8». Как видно, характер изменения параметров атмосферы на всем участке спуска станции «Венера-8» с высокой точностью близок к изобаре, $ds/dP = 0$. Результаты хорошо согласуются с предыдущими измерениями. Таким образом, подтверждается ранее сделанный вывод об адиабатичности атмосферы вплоть до поверхности планеты, использованный при построении модели атмосферы по данным измерений АМС «Венера-4, 5, 6 и 7» (1).

Кривые изменения параметров газа по высоте $T(h_r)$, $P(h_r)$, а также адиабатический профиль температуры, рассчитанный при начальных значениях T и P , заданных на поверхности, приведены на рис. 2. Градиент температуры, у поверхности равный $7,9^\circ/\text{км}$ плавно увеличивается до $9^\circ/\text{км}$ на высотах выше 30 км. Температура и давление газа в месте посадки на поверхности равны соответственно $741 \pm 7^\circ \text{K}$ и $93 \pm 1,5 \text{ кг/см}^2$.

Сопоставление данных «Венеры-8» с ранее полученными высотными профилями T и P на ночной стороне планеты по измерениям станций «Венера-4–7» свидетельствует об их удовлетворительном согласии. Хорошо согласуются также измеренные температура и давление на поверхности со значениями, полученными из измерений «Венеры-7» ($T = 747 \pm 20^\circ \text{K}$, $P = 90 \pm 15 \text{ кг/см}^2$). Это позволяет сделать вывод, что заметные суточные вариации на Венере вблизи утреннего терминатора отсутствуют.

Наложение профилей давления на высотах, где перекрываются измерения станций «Венера» и «Маринер-5» (при совмещении в точке с давлением $p = 4 \text{ кг/см}^2$) дает величину расстояния от точки посадки «Венеры-8» до гравитационного центра планеты $r = 6052 \text{ км}$, которая хорошо согласуется с радиолокационным значением среднего радиуса планеты ($R_2 = 6050 \pm 5 \text{ км}$) (2).

Для определения скорости ветра в атмосфере Венеры из измеренных значений радиальной скорости вычитались все составляющие, связанные с взаимным движением поверхности Венеры и приемной антенны на Земле. Кроме того, были введены поправки на температурный уход частоты бортового задающего генератора и регулярное рефракционное изменение частоты при движении в атмосфере ⁽³⁾.

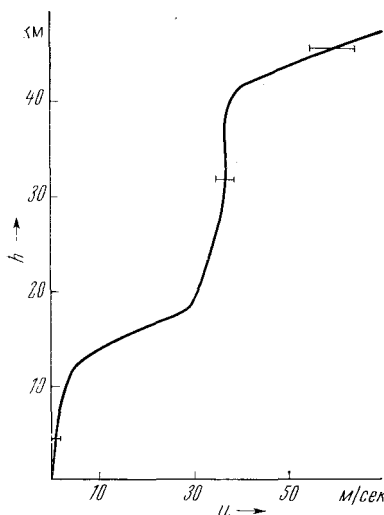


Рис. 4. Профиль скорости горизонтального ветра в зависимости от высоты над поверхностью

Вертикальная скорость спускаемого аппарата, входящая с множителем $\cos \delta$ в радиальную скорость, вычислялась независимо несколькими способами — по непосредственным измерениям температуры, давления и высоты, а также с использованием аэродинамических характеристик системы парашют — спускаемый аппарат. На основном участке спуска скорости движения, рассчитанные этими способами, совпадают с точностью 1–2 м/сек; в течение первых 100 сек. их разность лежит в пределах 5–8 м/сек. Различие вычисленных значений вертикальной скорости (с геометрическим множителем $\cos \delta$) определяет основную погрешность оценки скорости ветра.

В силу расположения района посадки спускаемого аппарата относительно «подземной» точки определявшаяся компонента скорости ветра близка к зональной, ее положительным значениям соответствует движение с ночной стороны на дневную.

Полученный по данным измерений высотный профиль скорости ветра показан на рис. 4. Привязка к высоте сделана по непосредственным измерениям температуры. Профиль скорости ветра имеет ряд характерных особенностей. Во-первых, отчетливо видно возрастание скорости ветра с высотой от 0–0,5 м/сек вблизи поверхности до 40–70 м/сек на высотах 42–48 км. Предварительные результаты обработки указывают, что на высотах более 48 км скорость ветра могла доходить до 100 м/сек. Во-вторых, имеется область 20–40 км, где скорость ветра была почти постоянной и составляла 32–36 м/сек. В-третьих, что особенно важно, в нижней тропосфере на высотах 0–10 км ветер практически отсутствует. Высоты 12–18 км и 42–48 км являются областями резкого изменения скорости ветра с градиентами до 5 м/сек на 1 км.

Тенденция к возрастанию скорости ветра с высотой характерна и для измерений «Венеры-4–7» ⁽⁴⁾, причем на высотах 20–40 км предыдущие измерения также приводили к постоянной скорости ветра, но имели значительную систематическую погрешность. Однако в целом скорости ветра на этих высотах, измеренные с помощью «Венеры-8», значительно больше. Измерения «Венеры-8» полностью подтверждают данные «Венеры-7» о малости скорости ветра вблизи поверхности Венеры. Это, очевидно, позволяет предполагать, что запыленность нижней атмосферы мала и ветровая эрозия поверхности незначительна.

Институт прикладной математики
Академии наук СССР
Москва

Поступило
20 II 1972

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ М. Ya. Marov, *Icarus*, 16, 415 (1972). ² М. Е. Ash, R. P. Ingalls et al., *J. Atmosph. Sci.*, 25, № 4 (1968). ³ В. В. Кержанович, *Космич. исслед.* 10, № 2 (1972). ⁴ V. V. Kerzhanovich, M. Ya. Marov, M. K. Rozhdestvensky, *Icarus*, 17, 659 (1972).