

Член-корреспондент АН СССР К. Я. КОНДРАТЬЕВ, А. А. БУЗНИКОВ,
Г. М. ГРЕЧКО, А. А. ГУБАРЕВ, А. Г. ПОКРОВСКИЙ

**ИЗМЕРЕНИЯ ОТНОШЕНИЯ СМЕСИ АТМОСФЕРНОГО
ВОДЯНОГО ПАРА В СТРАТОСФЕРЕ И МЕЗОСФЕРЕ
С ПОМОЩЬЮ СПЕКТРАЛЬНОЙ АППАРАТУРЫ, УСТАНОВЛЕННОЙ
НА ОРБИТАЛЬНОЙ СТАНЦИИ «САЛЮТ-4»**

Большой интерес к объяснению закономерностей теплового режима верхних слоев атмосферы выдвинул задачу определения содержания водяного пара в стратосфере и мезосфере. Начиная с пятидесятих годов и по настоящее время, многие советские и зарубежные исследователи проводили и проводят систематические измерения стратосферной влажности с помощью аппаратуры, устанавливаемой как на аэростатах, так и на метеорологических ракетах (¹⁻¹⁰). Однако и теперь вопрос о том, какова влажность стратосферы, далек от окончательного разрешения. Ряд исследователей (^{2-4, 7, 8}) склоняются к мнению, что стратосфера «суха» (несколько частиц воды на миллион частиц воздуха). Другие же авторы (^{1, 5, 6, 9, 10}) разделяют концепцию «влажной» стратосферы (более 10 частиц воды на миллион частиц воздуха). Еще менее изучен вопрос о влажности верхней стратосферы и мезосферы, т. е. на высотах более 30 км. Имеющиеся немногочисленные измерения удельной концентрации водяного пара на этих высотах противоречивы и потому не могут быть признаны удовлетворительными (^{5, 9}).

В связи с этим значительный интерес представляют измерения отношения смеси H_2O в верхних слоях стратосферы, производимые с помощью спектральной аппаратуры, устанавливаемой на пилотируемых космических аппаратах. Подобное описание методики таких измерений, получивших в литературе наименование затменных (¹¹), и детальный анализ возможностей последних были изложены в предыдущих работах авторов и потому не приводятся здесь (¹²⁻¹⁴).

Ниже описывается лишь конкретная реализация затменного метода для исследования вертикального распределения водяного пара, впервые осуществленная во время полета орбитальной станции «Салют-4» в январе — феврале 1975 г. На станции был установлен ИК-спектрометр со спектральным каналом шириной $3800-3825\text{ см}^{-1}$ в $2,7\text{ мкм}$ полосе поглощения водяного пара. Спектрометр с полушириной аппаратной функции $0,8\text{ см}^{-1}$ устанавливался за пределами герметичного корпуса орбитальной станции. Тем самым в условиях глубокого вакуума устранялась возможность влияния остаточной влаги внутри прибора на результаты измерений. Собственная следящая система спектрометра наводила его входную щель на геометрический центр солнечного диска с точностью до 1 угловой минуты и удерживала его в таком положении во время проведения измерений. Сканирующая система спектрометра, благодаря значительному быстродействию (каждый спектр шириной $3800-3825\text{ см}^{-1}$ вместе с калибром записывался за $1,75\text{ сек.}$, а контур основной информативной линии с центром $3816,07\text{ см}^{-1}$ прописывался за $0,09\text{ сек.}$), обеспечивала высотное разрешение порядка $0,5\text{ км}$. Время работы прибора на восходе и заходе Солнца составляло 5 мин. За этот интервал записывалось до 200 спектров. Достаточно высокое разрешение спектрометра, составляющее $0,8\text{ см}^{-1}$,

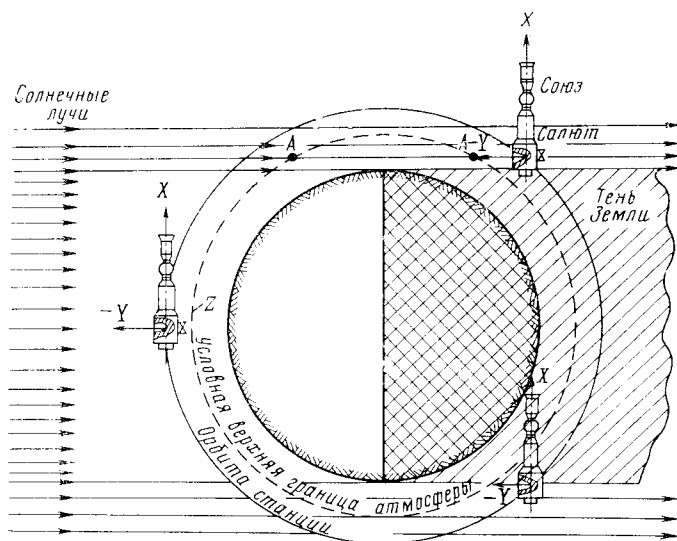


Рис. 1. Схема проведения эксперимента по затенному зондированию атмосферы

налагало дополнительные, весьма жесткие, требования на ориентацию станции «Салют-4» во время проведения измерений. При записи спектров щель спектрометра должна была располагаться параллельно плоскости горизонта Земли (рис. 1). В связи с этим на дневной стороне перед измерениями орбитальная станция ориентировалась соответствующим образом, затем осуществляла поступательное движение на гироскопах. Момент разарретирования гироскопов выбирался таким образом, чтобы при высоте Солнца над горизонтом, равной $1^{\circ}40'$, щель спектрометра была параллельна плоскости горизонта Земли. При этом высота оптической траектории над поверхностью планеты составляла 62,6 км.

Записанные на магнитной ленте бортового самописца спектры после посадки транспортного корабля «Союз-17» были доставлены на Землю. Высота орбиты станции «Салют-4» в момент записи спектра (рис. 2) составляла 349 км. Координаты подспутниковой точки равнялись 18° с. ш. и 148° в. д. Координаты точки, над которой производилось зондирование стратосферы, равнялись 13° с. ш. и 167° в. д. Минимальная высота оптической траектории h_m (см. рис. 1) для спектрограммы, приведенной на рис. 2, составляла 43,5 км. В качестве измеряемой характеристики наблюдаемого спектра по соображениям, детально рассмотренным в работах (¹²⁻¹⁴), было выбрано наблюдаемое пропускание $\bar{P}_m^{obs}(\nu_0, h_m)$ в центре ν_0 сильной спектральной линии $3816,07 \text{ см}^{-1}$. С помощью методики, изложенной в (^{13, 14}), было получено вертикальное распределение отношения смеси H_2O [$r_{\text{H}_2\text{O}}(h_m)$] при $r_{\text{H}_2\text{O}} = 1 \cdot 10^{-6} \text{ г/г}$.

$h_m, \text{ км}$	30-34	34-38	38-42	42-50	50-62
$\Delta g_{\text{H}_2\text{O}}/g_{\text{H}_2\text{O}}, \%$	10	15	20	40	60

Анализ информационного содержания измерений, осуществленный на основании результатов работы (¹⁴), показал, что, начиная с истинных высот оптических траекторий, больших 60 км, величина ошибки в определении отношения смеси H_2O соизмерима с самой определяемой величиной. Поэтому полученные значения $r_{\text{H}_2\text{O}}(h_m)$ для h_m , больших 60 км, могут лишь свидетельствовать о том, что на этих высотах удельная концентрация водяного пара лежит в пределах $(1-2) \cdot 10^{-6} \text{ г/г}$. Аналогичные оценки ошибок восстановления профиля $r_{\text{H}_2\text{O}}(h_m)$ для h_m , лежащих в пределах 30-60 км, показали, что на этих высотах относительные ошибки определения $r_{\text{H}_2\text{O}}(h_m)$ составляют 10-60%.

22^h 20^m 51,3^s моск.вр.

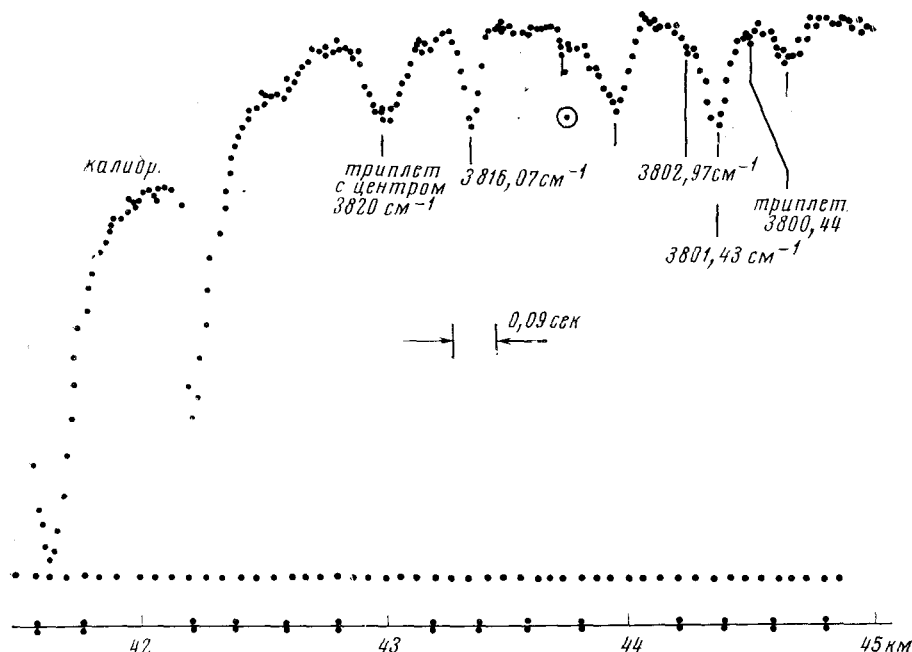


Рис. 2. Пример высотного спектра поглощения ИК-радиации парами воды в стратосфере (21 января 1975 г. над Маршалловыми островами)

Таким образом, полученные на станции «Салют-4» данные свидетельствуют в пользу сухой стратосферы в зимний период над Маршалловыми островами.

В заключение следует отметить, что полученные данные удовлетворительно подтвердили теоретические исследования затменного метода, проведенные авторами ранее (¹²⁻¹⁴), и позволяют рекомендовать использование этого метода для глобального изучения распределения водяного пара в атмосфере Земли.

Ленинградский государственный университет
им. А. А. Жданова

Поступило
26 IX 1975

ЛИТЕРАТУРА

- ¹ M. J. Gutnick, Geophys. Res., v. 66, № 9, 2867 (1961). ² J. T. Houghton, Quart. Roy. Met. Soc., v. 89, № 381, 332 (1963). ³ Б. С. Непорент, М. С. Руселова, Оптика и спектроскопия, т. 19, № 6, 923 (1966). ⁴ R. Zander, J. Geophys. Res., v. 71, № 15, 3775 (1966). ⁵ А. В. Фединский, В сб.: Серебристые облака. Международн. симпозиум, Таллин, 1966, «Наука», 1961. ⁶ N. D. Sissenvine, D. D. Grantham, H. A. Salmela, J. Atm. Sci., v. 25, N 6, 1129 (1968). ⁷ H. J. Mastenbrook, J. Atm. Sci., v. 25, N 2, 299 (1968). ⁸ D. G. Murracay, T. G. Kyle, W. J. Williams, J. Geophys. Res., v. 74, N 23, 5369 (1969). ⁹ Г. М. Мартынкевич, Метеорология и гидрология, № 12, 3 (1969). ¹⁰ Б. И. Огородников, В. И. Кожевин, И. В. Петряков, ДАН, т. 200, № 6, 1333 (1971). ¹¹ H.-J. Bolle, Zs. Geophys., B. 36, H. 1, Seite 1 (1970). ¹² К. Я. Кондратьев, Б. С. Непорент, А. Г. Покровский, Физ. атмосферы и океана, т. 6, № 9, 873 (1970). ¹³ К. Я. Кондратьев, А. А. Бузников, А. Г. Покровский, Proc. Intern. Rad. Symp., Sendai, Japan, May 26 — June 2, 1972, p. 507. ¹⁴ К. Я. Кондратьев, А. А. Бузников и др., Физ. атмосферы и океана, т. 10, № 10, 1041 (1974).