

Г. М. МАРТЫНКЕВИЧ, Е. Г. ШВИДКОВСКИЙ

АТОМАРНЫЕ ВОДОРОД И АЗОТ И ВОДЯНОЙ ПАР
В НИЖНЕЙ ТЕРМОСФЕРЕ СРЕДНИХ ШИРОТ В ПЕРИОД
МАКСИМУМА СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ

(Представлено академиком Е. К. Федоровым 11 V 1970)

25 июля 1969 г. на ракете МР-12 с быстродействующим времяпролетным масс-спектрометром МХ-5402, имеющим источник ионов открытого типа, получено 1770 масс-спектров нейтрального состава в диапазоне, превышающем $1 \div 100$ а.е.м. Ракета достигла высоты 157,4 км, измерения проводились в интервале высот 114—157—90 км, на подъеме и на спуске. Скорость регистрации равнялась в среднем 8 спектров/сек.

Зарегистрированы нейтральные компоненты с массовыми числами $1(\text{H})$; $14(\text{N})$; $16(\text{O})$; $18(\text{H}_2\text{O})$; $24(?)$; $28(\text{N}_2)$; $32(\text{O}_2)$; $40(\text{Ar})$; $44(\text{CO}_2)$; $56 \pm 0,5(?)$; $60 \pm 1(?)$; $72 \pm 1(?)$; $93 \pm 2(?)$ а.е.м. и некоторые другие, не рассматриваемые в данной статье.

Компоненты с массовыми числами 24, 56, 60, 72 и 94, по-видимому, имеют метеорное происхождение, так как пуск проведен в период, близкий к максимуму метеорной активности и могут быть отождествлены с Mg, Fe или CaO, SiO₂ или Ni, FeO и K₂O соответственно. Ниже основное внимание уделено атомарному водороду и азоту, а также водяному пару.

На рис. 1 изображены зависимости интенсивностей линий атомного водорода $V(\text{H})$ (кривая 1) и водяного пара $V(\text{H}_2\text{O})$ (кривая 2) от высоты. Для удобства шкала выходных сигналов пика $V(\text{H}_2\text{O})$ сдвинута вверх на 0,1 в относительно шкалы пика $V(\text{H})$.

Несмотря на тонкую структуру выходных сигналов, легко видеть, что в интервале $120 \div 154$ км (подъем) интенсивность линии 1, а, следовательно, числовая плотность атомного водорода n_{H} растет с увеличением высоты. Таким образом, рост n_{H} с высотой возможен не только в Арктике (^{1, 2}), но и в средних широтах. Увеличение n_{H} с высотой можно объяснить внеземным происхождением части атомарного водорода, которое и приводит к росту его числовой плотности с высотой.

Интенсивность линии H_2O изменяется с высотой немонотонно (на подъеме, рис. 1), что приводит, как это отмечалось и ранее (¹⁻⁴), к появлению максимума на высотной зависимости отношения $V(\text{H}_2\text{O}) / V(\text{N}_2)$ в интервале $130 \div 150$ км (рис. 2). Обращает на себя внимание тот факт, что несмотря на использование источника ионов открытого типа, величина отношения $V(\text{H}_2\text{O}) / V(\text{N}_2)$ в слое $130 \div 150$ км почти на порядок превосходит соответствующие величины, полученные в других экспериментах (¹⁻⁴). Основной причиной столь значительного увеличения относительной концентрации молекул H_2O в рассматриваемом слое является, по-видимому, более высокая относительная концентрация атомарного водорода, наблюдавшаяся в этом пуске, почти на порядок превосходящая относительные концентрации атомарного водорода, зарегистрированные в Арктике (о. Хейса) (^{1, 2}).

Таким образом, в слое $130-150$ км внутри источника ионов наблюдается как в нашем, так и в других экспериментах (¹⁻⁵) максимум относительной концентрации водяного пара. Так как в наших экспериментах влиянием десорбции с поверхностей ракеты, приборного контейнера и при-

боров можно пренебречь (¹⁻⁵), то к появлению пика водяного пара приводят как реакции рекомбинации атмосферных атомов кислорода и водорода внутри масс-анализаторов, так и присутствие водяного пара в атмосфере. Первая причина, возможно, является основной. Однако, рост n_i при монотонном уменьшении n_0 с увеличением высоты должен также приводить к максимуму концентрации водяного пара благодаря рекомбинации атомов водорода и кислорода не внутри прибора, а в атмосфере.

Таким образом, часть атмосферного водяного пара может иметь внеземное происхождение.

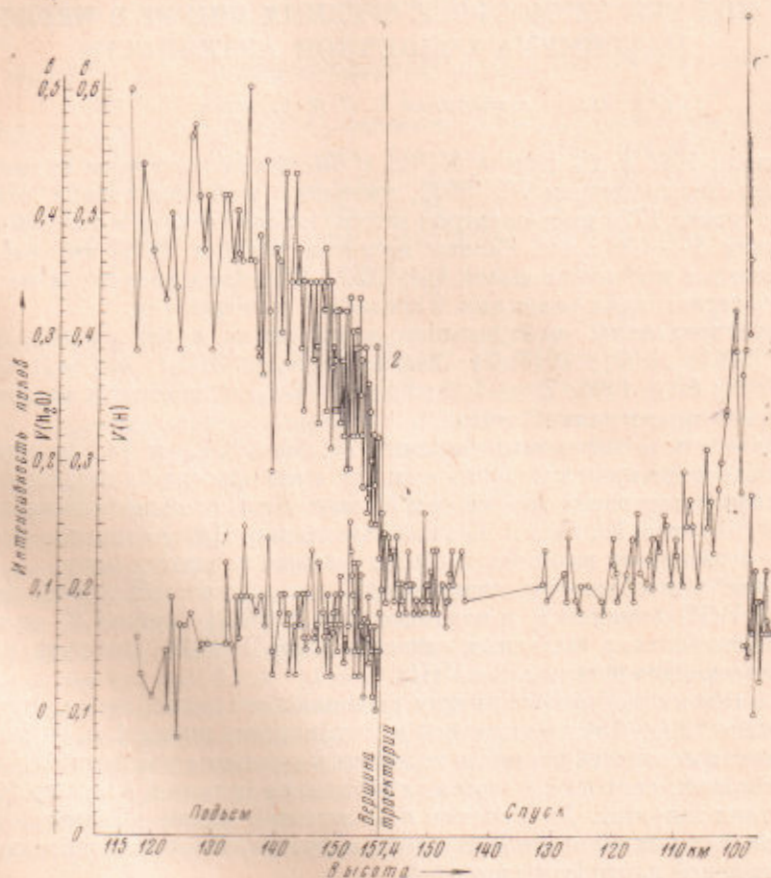


Рис. 1

Если допустить, что эффективный коэффициент рекомбинации внутри масс-анализаторов, приводящий к образованию молекул воды, не зависит от давления на уровнях, превышающих 100 км, то выходной сигнал масс-спектрометра $V(H_2O)$ и отношение $V(H_2O) / V(N_2)$ качественно отражают зависимость числовой плотности и относительной концентрации от высоты для молекул водяного пара атмосферной природы.

Исходя из этих соображений, мы решили проанализировать результаты других ракетных экспериментов для получения информации о вертикальном распределении водяного пара в мезосфере и нижней термосфере. Значительная часть опубликованных результатов 36 пусков (⁴) получена масс-спектрометрическим методом. Но наряду с масс-спектрометрическим методом использовались еще 4 метода: тепловых датчиков, поглощения в линии L_{α} , измерение вертикального распределения уходящей инфракрасной радиации и метод вертикального распределения свечения гидроокисла.

Данные этих 36 ракетных экспериментов и наши результаты позволяют сделать предположение о существовании трех слоев повышенной абсолютной концентрации водяного пара в мезо- и термосфере. Первый слой расположен непосредственно под мезопаузой ($78 \div 82$ км), второй между $96 \div 108$ км и третий между $130 \div 150$ км. Сопоставление масс-спектрометрических измерений с измерением поглощения в линии L_α позволяет оце-

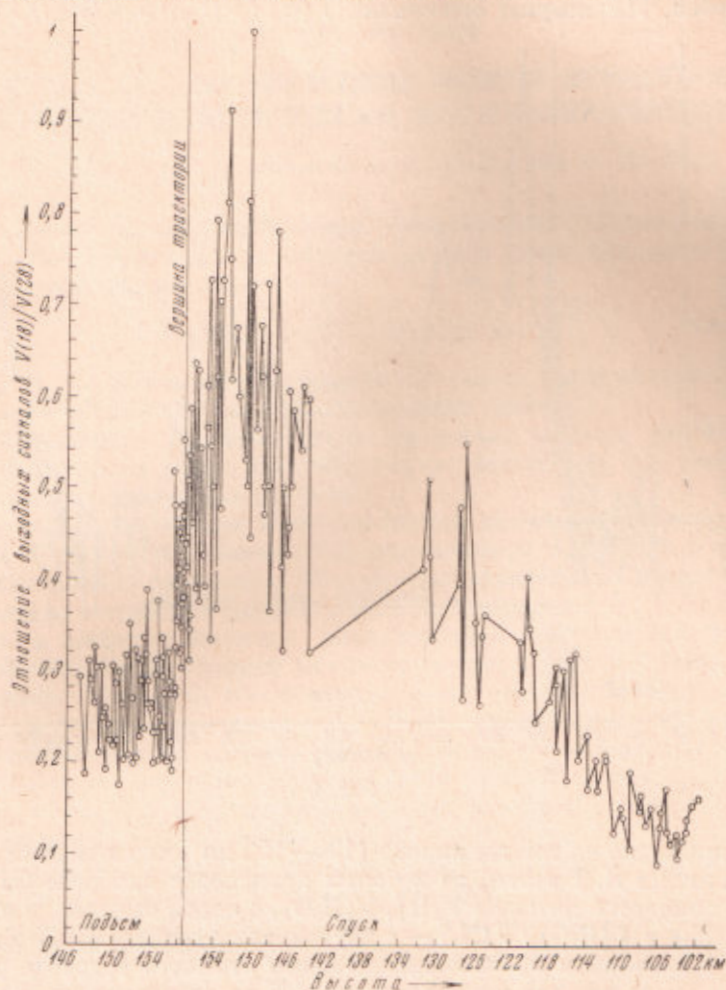


Рис. 2

нить верхний и нижний пределы коэффициента рекомбинации атомов водорода и кислорода внутри разных масс-анализаторов. Оценка приводит к значению, лежащему между 3 и 17. Поэтому уменьшая измеренные значения n_{H_2O} на один порядок, можно получить величины более или менее близкие к реальным атмосферным значениям.

Гипотеза о внеземном происхождении нейтрального атомного водорода может оказаться важной для понимания природы серебристых облаков и комплексных ионов $(H_2O)_n H^+$ ($n = 1, 2, 3, \dots$) (*).

На рис. 3 представлена зависимость от высоты отношения величин выходных сигналов $V(14)/V(28)$, характеризующего относительную концентрацию атомного азота n_N/n_{N_2} . Кривая на рис. 3 построена, начиная с 146 км, потому, что на меньших высотах величина выходного сигнала $V(28)$ выходила за пределы шкалы.

Как видно из рис. 3, отчетливо намечаются два слоя атомарного азота: один несколько ниже вершины траектории, другой — на высоте около

100 км. Уровни максимальной числовой плотности n_N в этих слоях отличаются от высот аналогичных уровней, полученных Гошем с соавторами⁽⁶⁾. Отношение $V(N)/V(N_2)$ на этих уровнях значительно превосходит его величину ($0,12 \pm 0,04$), полученную при лабораторных калибровках, т. е. никак не может быть объяснено погрешностями измерений.

Легко видеть, что кривые изображенные на рис. 1—3, коррелируют между собой. Максимумы отношений $V(N)/V(N_2)$ и $V(H_2O)/V(N_2)$ на-

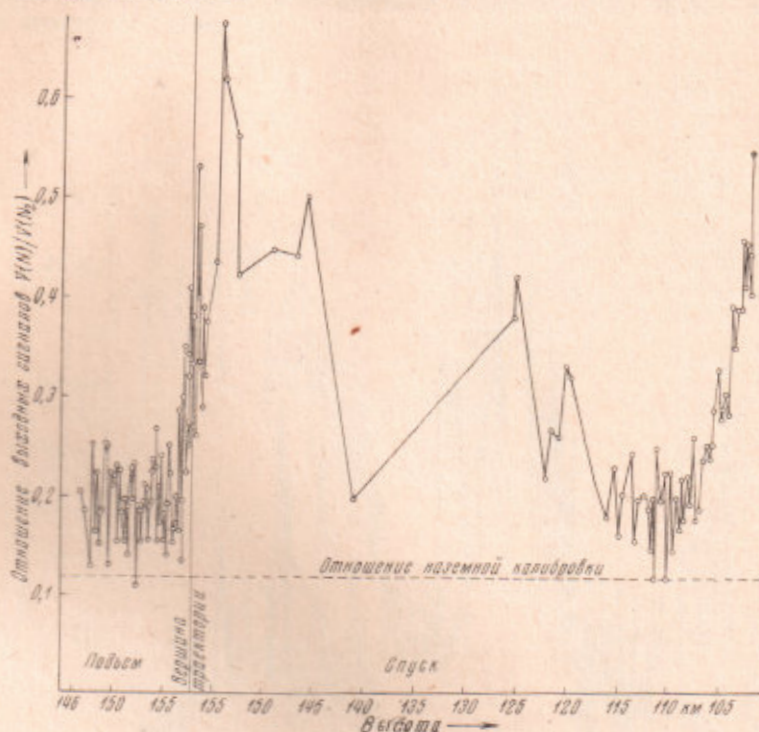


Рис. 3

ходятся примерно на той же высоте (130—150 км), что и максимум интенсивности линии Н. Высоты, на которых происходят наиболее быстрые изменения выходных сигналов $V(H)$, $V(H_2O)$, с одной стороны, и отношений $V(N)/V(N_2)$ и $V(H_2O)/V(N_2)$ — с другой, тоже совпадают. Это позволяет гипотезу о внеземном происхождении части атомного водорода дополнить гипотезой о том, что эта же часть атомов Н до их термализации обладает энергией, достаточной для диссоциации молекул N_2 .

Обнаруженная тонкая структура нейтрального состава характеризуется набором неоднородностей по высоте, линейные масштабы которых по вертикали лежат в интервале 80—1000 м. Для окончательного подтверждения существования столь мелкомасштабной структуры необходимы дополнительные эксперименты с более высокой, чем 8 гц скоростью регистрации.

Центральная аэрологическая обсерватория
Долгопрудный Моск. обл.

Поступило
27 IV 1970

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ G. M. Martynkevitch, E. D. Bjuro, G. V. Maljarova, Space Res., 8, Proc., Amsterdam, 947 (1968). ² E. G. Shvidkovsky, G. M. Martynkevitch et al Ibid., 9 (1969). ³ G. M. Martynkevitch, E. D. Bjuro, Ibid., 10 (1970). ⁴ Г. М. Мартынкевич, Метеорология и гидрология, № 12, 3 (1969). ⁵ Э. Д. Бюро, Г. М. Мартынкевич, Г. В. Малярова, Тр. Центр. аэр. обсерв., в. 81, 78 (1969). ⁶ S. N. Ghosh, B. B. Hinton et al., J. Geophys. Res., 73, № 13, 4425 (1968).