

М.В. Кротова, М.Г. Хапланов, В.А. Юшков

### ВЕРТИКАЛЬНОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ВОДЯНОГО ПАРА ПОДАНЫМ ПРЯМЫХ АЭРОСТАТНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ ФЛУОРЕСЦЕНТНЫМ ОПТИЧЕСКИМ ГИГРОМЕТРОМ

Приведено описание конструкции флуоресцентного оптического гигрометра и методики его градуировки. Представлены данные о вертикальном распределении отношения смеси водяного пара в стратосфере. В диапазоне высот 15–21 км отношение смеси водяного пара меняется от 6 до 15 ppmv и увеличивается до 20 ppmv на 27,5 км.

Для проведения прямых измерений состава озоносферы с борта аэростата в Центральной аэрологической обсерватории Госкомгидромета СССР разработан аппаратный полный комплекс, составной частью которого является оптический флуоресцентный гигрометр. Принцип действия прибора основан на измерении интенсивности флуоресценции в спектральном интервале 306–316 нм молекул возбужденного гидроксила, которые образуются в результате диссоциации молекул воды под воздействием вакуумного ультрафиолетового излучения с длиной волны короче 137 нм. Из теории, описанной в работах [1, 2], следует, что до высот порядка 30 км интенсивность флуоресценции зависит от процессов столкновительного тушения возбужденного гидроксила. При этом обеспечивается прямопропорциональная зависимость между регистрируемой интенсивностью флуоресценции гидроксила и отношением смеси водяного пара. Рабочая формула гигрометра имеет следующий вид

$$J = \mu F_{\lambda} \sigma_{\lambda} \varphi A / \kappa_q,$$

где  $J$  — интенсивность флуоресценции гидроксила в  $\text{фот} \cdot \text{с}^{-1} \cdot \text{см}^{-3}$ ;  $\mu$  — отношение смеси водяного пара в ppmv;  $F_{\lambda}$  — поток ионизирующего излучения на длине волны  $\lambda$  в  $\text{фот} \cdot \text{с}^{-1} \cdot \text{см}^{-2}$ ,  $\sigma_{\lambda}$  — эффективное сечение поглощения на длине волны  $\lambda$  в  $\text{см}^2$ ;  $\varphi$  — квантовый выход реакции;  $A$  — вероятность перехода в секунду,  $\text{с}^{-1}$ ;  $\kappa_q$  — коэффициент скорости тушения в  $\text{см}^3/\text{с}$ .

В аэростатных экспериментах используется открытая конструкция прибора с целью уменьшения десорбции воды со стенок технологических поверхностей. Источник вакуумного ультрафиолета и фотоприемник расположены в одной плоскости под углом 60° друг к другу и вакуумно плотно крепятся к несущему фланцу. В качестве источника вакуумного ультрафиолета используется лампа Кр Р-2-2, дающая излучение резонансной линии криптона на длине волны 123,6 нм с интенсивностью  $10^{15}$  фот·с. Фотоприемник включает в себя узкополосный интерференционный светофильтр и малошумящий солнечнослепой ФЭУ-142 с высоковольтным преобразователем, усилителем, синхронным детектором. Несущий фланец с фотоприемником и бортовым источником УФ излучения может герметично соединяться как с калибровочной гигрометрической установкой, так и с конструктивом аэростатного измерительного комплекса. Это дает возможность пользоваться предполетными лабораторными градуировками гигрометра для обработки данных пусков, а также проверять стабильность характеристик гигрометра после аэростатных полетов. Для того чтобы исключить засветку фотоприемника от излучения ночного неба и аэрозольного рассеяния, применяется модуляция УФ излучения. При работе на градуировочной установке с целью выделения полезного сигнала на фоне отраженного от стенок камеры света излучение лампы механически прерывается кварцевым фильтром с частотой около 100 Гц. При этом модулируется только излучение с длиной волны 123,6 нм, а в информативном диапазоне 306–310 нм не модулируется. В аэростатных измерениях удобно применять модуляцию полезного сигнала за счет импульсного включения лампы. С помощью разработанного бортового модулятора лампа зажигалась с частотой 120 Гц. Выделение полезного сигнала на уровне фоновых засветок осуществлялось синхронным детектированием и интегрированием сигнала. Постоянная времени прибора определяется временем интегрирования и в используемом приборе составляет 6 с. При скоростях подъема и спуска аэростата 5 м/с и 30 м/с в полученных профилях концентрации водяного пара достигается разрешение по высоте соответственно 30 и 200 м.

Градуировка гигрометра осуществлялась на вакуумной установке по абсолютному давлению водяного пара в диапазоне от  $10^{-5}$  до  $10^{-3}$  мм рт. ст. При этом в градуировочном объеме создавалась 100%-ная концентрация водяного пара, а давление измерялось ионизационным вакуумметром. Наибольшая относительная погрешность измерения давления водяного пара при использовании преобразователей ИМ-12 в вакуумметре ВИ-14 составляет 55% на линейных шкалах при нормальных условиях, что и определяет точность градуировки гигрометра. Прибор отградуирован в диапазоне числовых концентраций молекул водяного пара от  $10^{12}$  до  $10^{14}$  мол/см<sup>3</sup>, что соответствует реальной стратосферной влажности. На рис. 1 приведена градуировка гигрометра. Поправки на предпоглощение кислородом фотодиссоциирующего

излучения на трассе от лампы до объема измерения и столкновительное тушение вводятся расчетным путем.

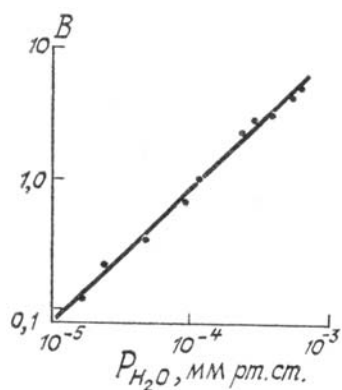


Рис. 1. Зависимость выходного сигнала гигрометра от давления водяного пара в градуировочной камере

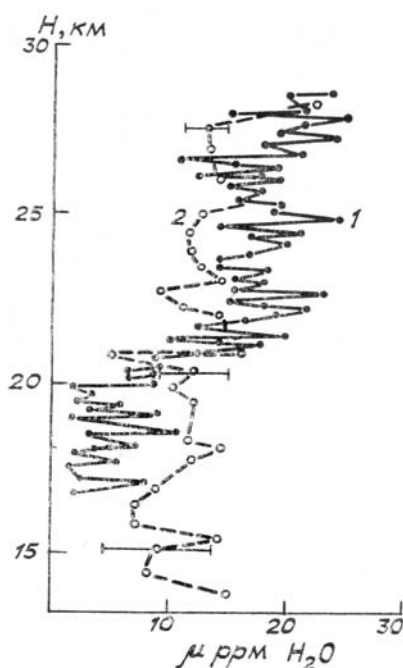


Рис. 2. Вертикальное распределение отношения смеси водяного пара, полученное при подъеме аэростата (кривая 1) и при спуске (кривая 2)

Перед пуском оптический блок гигрометра герметизировался, подвергался осушению и вакуумированию. Вскрытие прибора и его включение осуществлялось на 17 км при подъеме аэростата. Первые 8–10 мин работы прибора (высоты 17–19 км) осуществлялся его прогрев и выход на режим измерений. На рис. 2 представлены результаты измерения отношения смеси водяного пара с борта аэростата, запущенного 06.09.1987 г. в г. Рыльске Курской области. В диапазоне высот 15–21 км отношение смеси меняется от 6 до 15 ррмv и увеличивается до 20 ррмv на 27,6 км. В дрейфе аэростата на высоте 28 км наблюдается резкое увеличение сигнала гигрометра, что связано с прекращением регулярного обдува прибора и попаданием десорбированной с технологических поверхностей влаги в поле зрения гигрометра. Эти данные на рис. 2 не представлены. Дрейф длился около 15 мин и после его окончания в начале спуска данные прибора хорошо совпадают с его показаниями на подъеме. Это свидетельствует о корректности измерения концентрации водяного пара с борта аэростата оптическим флуоресцентным гигрометром.

Представленные полетные данные о влажности стратосферы получены на этапе отработки метода и аппаратуры. Возможные систематические ошибки будут уточняться при дальнейших лабораторных калибровках гигрометра на образцовых резонансных СВЧ пирометрических установках.

1. Terenin A. N., Neuimin G. G. // Nature. 1934. № 134. P. 255.

2. Kley D., Stone E.J. //Rev. Sci. Instrum. 1978. V. 49. № 6. P. 691—697.

Центральная аэрологическая обсерватория,  
г. Долгопрудный

Поступила в редакцию  
8 августа 1988 г.

M.V. Kretova, M.G. Khaplanov, V.A. Yushkov. **Water Vapour Vertical Distribution Measurements by Balloon-borne Optical Fluorescence Hydrometer.**

The design of an optical fluorescence hydrometer and the calibration technique used are described. Balloon-borne data on the vertical distribution of the stratospheric water vapor mixture ratio are presented. For the 15–21 km altitude range the mixture ratio is shown to vary from 6 to 15 ppmv and increase up to 20 ppmv at 27.5 km.