

Определение содержания водяного пара в атмосфере по спектрофотометрическим измерениям со спутников

В.И. Сячинов, М.А. Кузнецова

*Институт космических исследований РАН
117997, Москва, ул. Профсоюзная, 84/32
E-mail: gora@iki.rssi.ru*

В работе рассмотрены результаты определения содержания водяного пара в безоблачной атмосфере по фотометрическим измерениям яркости Земли в полосах поглощения водяного пара и в “окнах” прозрачности со спутников.

Ключевые слова: содержание водяного пара, измерения яркости Земли, полосы поглощения водяного пара, окна прозрачности.

Спектроскопический метод утвердился в последнее время как один из основных при изучении состава и оптических характеристик атмосферы, в том числе и при определении интегрального содержания водяного пара в атмосфере. Методику измерений содержания водяного пара W по спектрофотометрическим данным впервые разработал и применил Фоуль [1, 2].

В качестве меры поглощательной способности обычно используют функцию пропускания $P = I/I_0$, из обращения которой определяется масса водяного пара, где I_0 и I – интенсивности радиации, падающей и прошедшей сквозь исследуемую толщу поглощающего вещества соответственно.

Научной программой исследований с борта спутников серии «Космос» предусматривалось опробирование спектрофотометрического метода определения полного влагосодержания в атмосфере в безоблачных условиях по измерениям отражённой солнечной радиации в ближней ИК-области спектра по полосам поглощения водяного пара с максимумами поглощения в диапазоне длин волн 720 и 940 нм. Этот выбор был обусловлен следующими обстоятельствами:

- эти полосы не перекрываются полосами поглощения других газов;
- полосу 720 нм, имеющую малую интенсивность, предполагалось использовать для определения W в районах с повышенной влажностью;
- по полосе 940 нм, более сильной, чем 720 нм, предполагалось точнее определять полное содержание водяного пара в атмосфере;
- величины солнечной энергии в этих интервалах ещё достаточно велики по сравнению с другими полосами поглощения, расположенными также в ИК-области спектра;
- существенным также является то, что по исследованиям различных авторов [3, 4] зависимость функции поглощения $A = I - P$ от полного содержания водяного пара W см на пути луча подчиняется закону квадратного корня, причём для приборов со средним разрешением $\Delta\lambda_{0,5} = 12 - 20$ нм прямая $A = c\sqrt{W}$ проходит через начало координат, где c – константа, зависящая от спектрального разрешения используемой аппаратуры.

Пример такой зависимости, полученной с Земли по измерениям прямого солнечного излучения при построении градуировочной кривой, представлен на *рис. 1*.

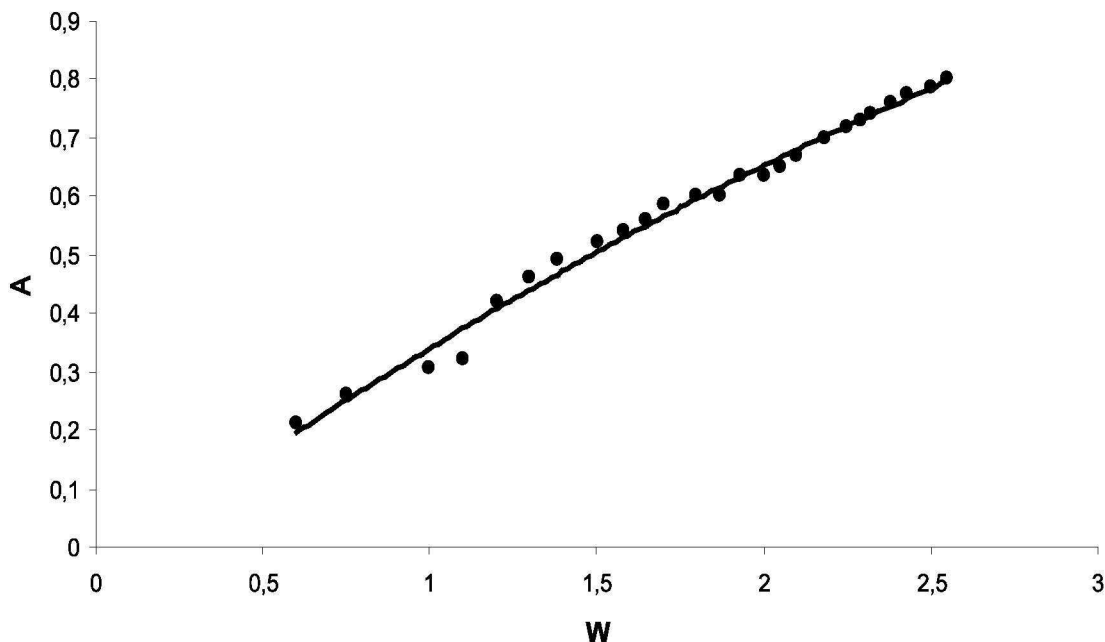


Рис. 1. Зависимость функции пропускания A в полосе ρ от содержания водяного пара в атмосфере

Измерения с контролем по Солнцу отражённого солнечного излучения от подстилающей поверхности со спутников проводились с помощью фотометров в ближней ИК-области спектра в полосе поглощения водяного пара 723 и 951 нм и вне полос поглощения 738 и 1030 нм со спектральным разрешением $\Delta\lambda_{0,5}$ - 50 А и 120 А соответственно [5].

По измеренным интенсивностям отраженного излучения в полосе I_1 и вне полосы поглощения I_2 водяного пара определялись величины функции пропускания из соотношения

$$P(W) = \frac{I_1}{I_2} \cdot \frac{S_2}{S_1} = \frac{U_1}{U_2} \cdot \frac{U_S^{(2)}}{U_S^{(1)}},$$

где I_1 и I_2 – интенсивности отражённой Землёй солнечной радиации в полосе и вне полосы поглощения водяного пара соответственно; S_1 и S_2 – внеатмосферные величины солнечной постоянной в этих же участках спектра; U_1 и U_2 , $U_S^{(1)}$ и $U_S^{(2)}$ – текущие значения сигналов от подстилающей поверхности и молочного стекла МС-13, освещаемого внеатмосферным Солнцем; 1 и 2 – номера измерительных каналов. По известной зависимости функции поглощения $A = I - P$ от массы водяного пара W^* на пути луча как $A = 0,3\sqrt{W^*}$ определяют содержание водяного пара в вертикальном столбе W из отношения

$$W^* = W (\cos \xi_o + \cos \theta),$$

где ξ_o и θ – углы падения солнечного излучения и визирования соответственно.

Для проверки достоверности определения W со спутника «Космос-320» над безоблачными районами были собраны вертикальные профили температуры и влажности, полученные из сети метеорологических станций от радиозондов. На основе этих данных были вычислены величины содержания водяного пара в вертикальном столбе атмосферы $W_{зонд}$ см. Безоблачные районы в подспутниковых точках выделялись по телевизионным снимкам, полученным с американского спутника Essa, и синоптическим картам погоды северного полушария. Из данных метеорологической сети за пять суток удалось отобрать 63 реализации, которые находились не далее чем 50-100 км от проекции орбиты спутника и были сдвинуты по времени не более чем на 3 часа от измерений со спутника. На рис. 2 представлена регрессия между величинами $W_{исз}$, измеренными со спутника в полосе ρ , и значениями $W_{зонд}$, полученными в результате обработки радиозондовых данных.

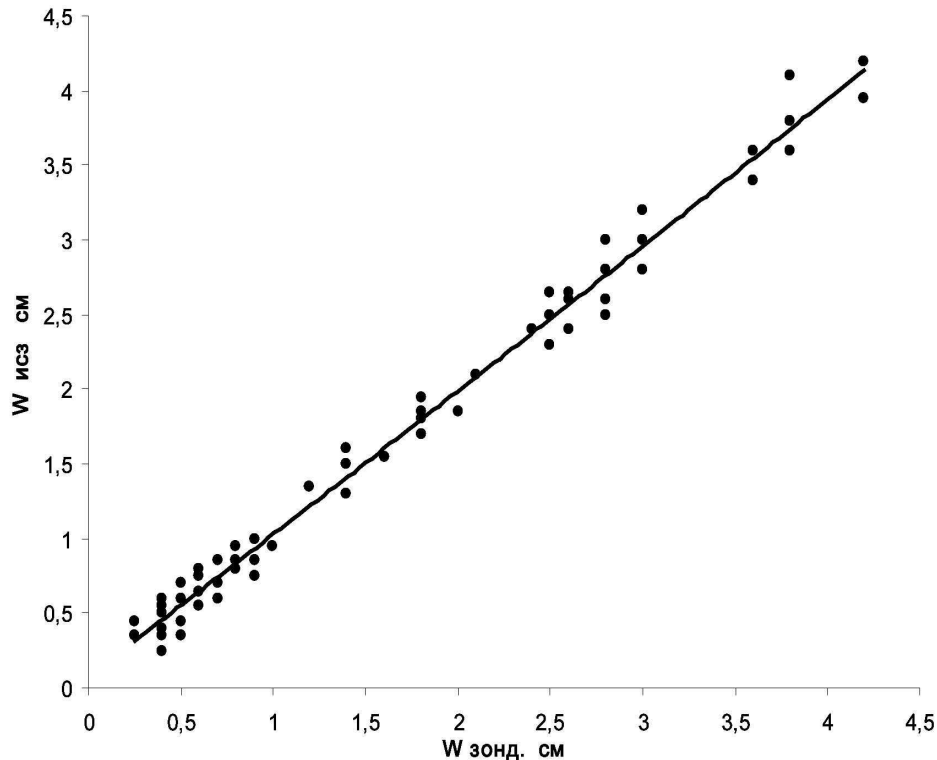


Рис. 2. Регрессия между величинами содержания водяного пара W см, определённым по данным со спутника $W_{исз}$ и радиозондов $W_{зонд}$

Можно отметить хорошее согласие между этими результатами, которые полностью независимы, коэффициент корреляции между ними равен 0,96. Среднеквадратичное отклонение разности этих измерений составляет 0,18 см при изменении W от 0,3 до 4,3 см. Если учесть, что W во всём столбе атмосферы может изменяться над поверхностью Земли от 0,2 до 6 см, то спутниковые измерения содержания водяного пара по полосе ρ могут дать полезную информацию о пространственном распределении водяного пара в атмосфере.

Измерения в полосе поглощения водяного пара 720 нм и окне сравнения 738 нм показали, что использование полосы 720 нм для измерений содержания водяного пара в атмосфере с помощью аппаратуры с обычными интерференционными фильтрами с полушириной 50А и характеристикой, слишком далёкой от П-образной, нецелесообразно, т.к. даже над районами с повышенной влажностью ($W = 4 - 5$ см) максимальное поглощение в этой полосе не превышает 0,15 ($A_{\max} \leq 0.15$).

Литература

1. *F.E.Fowle*. Transparency of aqueous vapour.// *Astroph. J.*, 1913, 42, 394-411.
2. *F.E.Fowle*. The spectroscopic determinations of aqueous vapour.// *Astrophys.J.*, 1912, №3, 35
3. *Т.П.Торопова*. Определение количества водяного пара, содержащегося в атмосфере, спектроскопическим методом. // *ДАН СССР*, 1966, №1,86.
4. *Г.А. Кириенко, Т.П.Торопова, И.М. Ибрагимов*. Некоторые данные о спектро-скопическом методе определения водяного пара в атмосфере. // *Тр. 7-го межведомственного совещания по актинометрии и оптике атмосферы*. Ленинград, Май 1968, с.97-100.
5. *В.И.Сячинов и др.* Телефотометры и особенности их работы в космосе.// *Сб. «Космическая стрела»*. Наука, 1976, с. 224-230.

Determination of water vapor content in the atmosphere using the results of spectrophotometric measurements from the satellites

V.I. Syachinov, M.A. Kuznetsova

Space Research Institute of RAS
e-mail: gora@iki.rssi.ru

The paper deals with the results of determination of water vapor content in the cloudless atmosphere from the photometric measurements of Earth brightness in the water vapor absorption bands and in the atmospheric windows using the satellite data.

Keywords: water vapor content, Earth brightness measurements, water vapor absorption bands, atmospheric windows.