

Измерения общего содержания водяного пара по солнечному спектру атмосферы

Васильченко С.С.¹, Сердюков В.И.¹, Сеница Л.Н.¹, Воронин Б.А.¹, Кабанов Д.М.¹, Макарова М.В.²

¹Институт Оптики Атмосферы им. В.Е.Зуева СО РАН, Россия

²Санкт-Петербургский государственный университет, Россия
sln@asd.iao.ru, serd49@mail.ru, boris@asd.iao.ru

Регистрация спектров поглощения солнечного излучения, прошедшего через всю толщину атмосферы Земли, проводилась на Фурье-спектрометре IFS-125M. Спектры записывались в 22 мая 2012 года. Условия регистрации спектров - диапазон 25000 - 8000 см⁻¹ (400 - 1250 нм); фотоприемник - кремниевый фотодиод; делитель - кварц; разрешение - 0,05 см⁻¹; скорость сканера - 20 кГц; диаметр апертуры - 0,6 мм; время одного измерения - 10 минут.

Измерения проводились при диаметре апертуры 0,85 мм (в этом случае отношение сигнал/шум (S/N) увеличивалось в 2-3 раза), однако при этом наблюдалась конволюция (искажение) спектров в высокочастотной области - 400-500 нм. В области 18000 см⁻¹ отношение $S/N = 100$. При полном перекрытии Солнца облаками регистрация прекращалась. Подробно установка описана в работе [1,2].

Результаты, полученные в ходе измерений, обрабатывались программой SFIT v3.92 [3]. Выбор конкретных спектров для обработки (22 мая 2012 в 8:48, 8:59 и 9:09) с целью определения общего содержания H₂O был обусловлен тем, что они измерялись близко по времени к запуску метеозонда и в качестве профилей $T(z)$ и $P(z)$ при обработке использовались данные метеозондирования на станции Колпашево (ВМО №29231) в 0 часов по GMT. В качестве априорных профилей концентраций газов в атмосфере были использованы профили, рассчитанные при помощи климатической модели WACCM (Whole Atmosphere Community Climate Model) [4]. В качестве источника информации о параметрах тонкой структуры линий молекулярного поглощения использовалась спектроскопическая база данных HITRAN 2004 (<http://www.hitran.com>).

Специфика используемых Фурье-спектрометрических измерений состоит в нестандартности диапазона измерений (8000-25000 см⁻¹). Выбор спектрального интервала для обработки был дополнительно обусловлен тем, что программа SFIT v3.92 имеет ограничение по шкале волновых чисел (не более 10000 см⁻¹). Были рассмотрены десять интервалов разной ширины (от 35 см⁻¹ до 0.6 см⁻¹) в диапазоне 9900-9999 см⁻¹ (например, 9930-9965 см⁻¹, 9943.6-9944.7 см⁻¹, 9973.5-9974.1 см⁻¹ и т.д.), содержащих линии водяного пара. Выбранные интервалы 9979.4-9981.15 см⁻¹ и 9941-9958 см⁻¹ среди исследованных десяти характеризуются наименьшими значениями случайных погрешностей определения общего содержания H₂O в атмосфере.

Результаты определения общего содержания H₂O по спектрам 22 мая 2012 г. приведены в таблице 1. Оценка случайной составляющей погрешности определения общего содержания H₂O по выбранным интервалам составляет 0.5-0.7% (или $(2-3) \cdot 10^{20}$ молек./см² (см. табл.1).

Видно, что выбранные два интервала, хоть и дают немного отличающиеся значения общего содержания, но эти рассогласования лежат в пределах погрешности определения общего содержания H₂O (уже упомянутые 0.5-0.7%).

Измерения общего влагосодержания (ОВС) и аэрозольной оптической толщи (АОТ) атмосферы в ИОА СО РАН выполняются в круглогодичном мониторинговом режиме с

Таблица 1. Результаты обработки спектров 22.05.2012 программой SFIT v3.92.

Время	Зенитный угол	Интервал 9979.4-9981.15 см^{-1}		Интервал 9941-9958 см^{-1}	
		Общее содержание H_2O , * 10^{22} молек./ см^2	RMS	Общее содержание H_2O , * 10^{22} молек./ см^2	RMS
08:48:35	60.40498	4.28 ± 0.02	0.332	4.30 ± 0.02	0.472
08:59:09	58.96158	4.28 ± 0.02	0.398	4.29 ± 0.03	0.453
09:09:43	57.52840	4.34 ± 0.02	0.388	4.33 ± 0.03	0.461

помощью автоматизированных солнечных фотометров серии SP [5,6]. Регистрация проводится с интервалом в одну минуту в условиях, когда Солнце не перекрыто облаками.

Определение ОВС осуществляется по соотношению сигналов в двух спектральных каналах: в полосе поглощения водяного пара 0,94 мкм и вне полосы – 0,87 мкм. Полуширина светофильтров составляет $\sim 0,01$ мкм. Используемые при восстановлении ОВС зависимости отношений пропускания $T_{0,94}/T_{0,87}$ от поглощающей массы рассчитываются по модели HITRAN-2000 (<http://www.hitran.com>) с учетом аппаратных функций спектральных каналов. Более подробно методика калибровки фотометра и восстановления АОТ и ОВС атмосферы описана в работах [7,8].

На рис.1 представлены результаты измерений АОТ и ОВС атмосферы в г.Томске (Академгородок) 22 июня 2012 г. См. также таблицу 2.

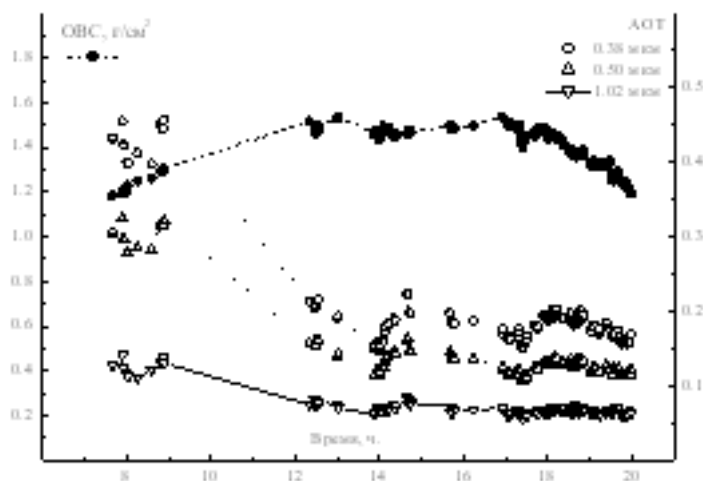


Рис. 1. Результаты измерений АОТ и ОВС атмосферы в г.Томска 22.05.2012

В первых двух колонках таблицы 2 представлено время измерения и содержание водяного пара в $\text{г}/\text{см}^2$, измеренное солнечными фотометрами, в последней колонке содержание водяного пара, пересчитанное в молекулах/ см^2 .

Погрешность определения общего влагосодержания на спектрофотометрах составляет 0,01-0,02 $\text{г}/\text{см}^2$ т.е. 0.22-0.47% или до 0.5%, а как указывалось выше, ошибка определения общего содержания на Фурье-спектрометре составляет 0.5-0.7%

Таблица 2. Измерения общего содержания водяного пара солнечными фотометрами

Время Томское	грамм/см ²	Общее содержание Н ₂ О, *10 ²² молекул/см ²
8:48:21	1.29494	4.33
8:49:21	1.29296	4.33
8:51:17	1.29199	4.32
8:53:08	1.30492	4.37

Водяной пар является очень изменчивой газовой компонентой атмосферы, поэтому при сравнении результатов различных систем измерений, необходимо соблюдение одновременности наблюдений. Измерения солнечного фотометра в 8:48:21 и 8:49:21 можно сравнить с Фурье-измерениями в 08:48:35. Разница с первым диапазоном (9979.4-9981.15 см⁻¹) составит 1.2% а со вторым (9941-9958 см⁻¹) 0.75%. Если же сравнить измерения солнечного фотометра в 8:53:08 с Фурье-измерениями 08:59:09, что не совсем корректно, разница с первым диапазоном (9979.4-9981.15 см⁻¹) составит 1.96% а со вторым 1.73%. Т.е. разница в измерениях общего содержания водяного пара не превышает 2 %.

Таким образом, рассогласование, полученное при сравнении одновременных измерений общего содержания Н₂О (в период 8:48 - 8:50), составило 0.75-1.2%. Это значение лежит в пределах суммарной погрешности (~1.2%) используемых методов и аппаратуры (Фурье-спектрометра и солнечного фотометра).

Работа поддержана грантами РФФИ, программой ОФН РАН 3.9.

Литература

1. Васильченко С.С., Сердюков В.И., Смица Л.Н. Спектральная система измерений газовых атмосферных компонентов с оптоволоконной следящей системой и некоторые результаты анализа атмосферных спектров // Оптика атмосферы и океана. -2012. -Т. 25. -№ 10. -С. 920-925.
2. Васильченко С.С., Воронин Б.А., Емельянов Д.С., Сердюков В.И., Смица Л.Н., Половцева Е.Р., Насе F. Определение концентраций атмосферных газов на основе анализа Фурье-спектров поглощения солнечного излучения // XVII Междунар. симпоз. "Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы". Томск. 28 июня - 1 июля 2011. С. А50-А53.
3. Rinsland C.P., Jones N.B., Connor B.J., Logan J.A., Pougatchev N.S., Goldman A., Murcray F.J., Stephen Th.M., Pine A.S., Zander R., Mahieu E., Demoulin P. Northern and southern hemisphere ground-based infrared spectroscopic measurements of tropospheric carbon monoxide and ethane // Journal of geophysical research. -1998. -V.103. -№ D21. -P.28197-28218. doi:10.1029 / 98JD02515.
4. Garcia R.R., Marsh D.R., Kinnison D.E., Boville B.A., Sassi F. Simulation of secular trends in the middle atmosphere // J. Geophys. Res. -2007.-V. 112.-P. 1950-2003. doi:10.1029/2006JD007485.
5. Сакерин С.М., Кабанов Д.М., Ростов А.П., Турчинович С.А., Турчинович Ю.С. Система сетевого мониторинга радиационно-активных компонентов атмосферы. Часть I. Солнечные фотометры // Оптика атмосферы и океана. -2004. -Т. 17. -№ 04. С. 354-360

6. Сакерин С.М., Кабанов Д.М., Ростов А.П., Турчинович С.А., Князев В.В. Солнечные фотометры для измерений спектральной прозрачности атмосферы в стационарных и мобильных условиях // Оптика атмосферы и океана. 2012. -Т. 25, № 12, С. 1112-1117
7. Кабанов Д.М., Сакерин С.М. О методике определения аэрозольной оптической толщи атмосферы в ближнем ИК-диапазоне спектра // Оптика атмосферы и океана. -1997. Т. 10.№ 08. С. 866-874.
8. Кабанов Д.М., Веретенников В.В., Воронина Ю.В., Сакерин С.М., Турчинович Ю.С. Информационная система для сетевых солнечных фотометров // Оптика атмосферы и океана.-2009. Т. 22. № 01. С. 61-67.

Measurements of water vapor total content in the solar spectrum of the atmosphere

Vasilchenko S.S.¹, Serdyukov V.I.¹, Sinitsa L.N.¹, Voronin B.A.¹, Kabanov D.M.¹, Makarova M.V.²

¹ *V.E. Zuev Institute of Atmospheric Optics SB RAS, Russia*

² *St.Petersburg University, Russia*

Registration of absorption spectra of solar radiation, passed through the the Earth's atmosphere, was carried out by the Fourier spectrometer IFS-125M. All spectra were recorded during the period of May 17-23, 2012. Conditions of spectrum registration: spectral range is 25,000 - 8000 cm^{-1} (400 - 1250 nm); photodetector is silicon photodiode; the splitter is quartz; resolution is 0.05 cm^{-1} ; scanner speed is 20 kHz; the diameter of the aperture is 0.6 mm; time of one measurement is 10 minutes. The measurements were carried out with the diameter of the aperture of 0.85 mm (in this case, the signal to noise ratio (S/N) is increased by 2-3 times), however, spectrum distortion was observed in the high-frequency range of 400-500 nm. In the area of 18000 cm^{-1} S/N = 100. Spectrum registration during the mentioned period was carried out from 8-30 till 18-00. During the experiment, solar radiation was often covered by clouds. The results, obtained during the measurements, were processed by SFIT v3.92 program . In the result, the data on water vapor total content were obtained during the processing of experimental data in the range of 9900-10000 cm^{-1} . Some intervals were selected: 9979.4-9981.15 cm^{-1} and 9941-9958 cm^{-1} – in this case, the results of calculations of water vapor total content were the most stable.

$$\text{H}_2\text{O total content} = 4.28 \times 10^{22} \text{ mol/cm}^2$$

Measurements of the Fourier-spectrometer were compared with the measurements of sun photometer. The difference with the first range (9979.4-9981.15 cm^{-1}) was 1.2 percent.

The work is partly supported by the Russian Fund for Basic Research Grants, RAS Program 3.9.