

**СРАВНЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ДИСТАНЦИОННЫХ СПЕКТРОФОТОМЕТРИЧЕСКИХ
ИЗМЕРЕНИЙ O₃, NO₂ И АЭРОЗОЛЬНОЙ ОПТИЧЕСКОЙ ТОЛЩИ
С ДАННЫМИ СПУТНИКОВЫХ И РАДИОЗОНДОВЫХ ИЗМЕРЕНИЙ**

**А.П. Макеев, О.Е. Баженов, В.Д. Бурлаков, М.В. Гришаев,
Ю.В. Гриднев, С.И. Долгий, А.В. Невзоров**

Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, Томск, Россия
map@iao.ru

**COMPARING THE REMOTE SPECTROPHOTOMETRIC MEASUREMENTS OF O₃, NO₂ AND
STRATOSPHERIC AEROSOL WITH SATELLITE AND RADIOSONDE MEASUREMENT DATA**

A.P. Makeev, O.E. Bazhenov, V.D. Burlakov, M.V. Grishaev, Yu.V. Gridnev, S.I. Dolgy, A.V. Nevzorov

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

Аннотация. В докладе приводятся результаты дистанционных спектрофотометрических измерений общего содержания озона и двуокиси азота, полученные на Сибирской лидарной станции (СЛС) Института оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН в сравнении с результатами аналогичных спутниковых измерений.

Наземные измерения общего содержания озона проводились озонометром М-124, измерения содержания NO₂ выполняются автоматизированным спектрофотометром. Эти измерения сравниваются с данными радиозондовых и спутниковых измерений. Спутниковые измерения осуществляются аппаратурой TOMS и IASI.

Ключевые слова: атмосфера, спутниковые измерения, зондирование.

Abstract. The report contains results of remote spectrophotometric measurements of the total ozone and nitrogen dioxide contents, obtained at the Siberian Lidar Station (SLS) of V.E. Zuev Institute of Atmospheric Optics, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences in comparison with the results of analogous satellite measurements.

The ground-based measurements of the total ozone were conducted M-124 ozonometer; and the measurements of the NO₂ content are carried out with automatic spectrophotometer. These measurements are compared with data of radiosonde and satellite measurements. The satellite measurements are performed by the TOMS and IASI instrumentation.

Keywords: atmosphere, satellite measurements, sounding

Введение

На Сибирской лидарной станции (СЛС) Института оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН в Томске уже продолжительное время ведутся наземные дистанционные измерения аэрозольно-газового состава атмосферы. Измеряются рассеивающие характеристики стратосферного аэрозольного слоя, общее содержание озона (ОСО) и содержание двуокиси азота (NO₂).

Измерения ОСО

С 1993 г. измерения общего содержания озона ОСО ведутся с помощью озонометра М-124. Для сравнения наших данных использовались данные спутниковых измерения ОСО аппаратурой TOMS, которые восстанавливаются с помощью двух алгоритмов: OMI-TOMS и OMI-DOAS [<http://avdc.gsfc.nasa.gov/>]. Основным отличием двух алгоритмов является то, что в DOAS устраняется влияние аэрозоля, облачности, диоксида серы и подстилающей поверхности путем спектральной подгонки, а в алгоритме TOMS для этого применяется эмпирическая подгонка.

Спутниковые данные восстанавливались с помощью двух алгоритмов для двух близлежащих географических точек Томск (56.480° N; 85.050° E) — OMDO, OMTO и Томск 1 (56.755° N; 85.020° E) —

OMDO 1, OMTO 1. С развитием Aura Validation Data Center AVDC представленные для широты Томска спутниковые данные пополнились измерениями на других спутниках, наиболее привлекательными из которых являются данные Global Ozone Monitoring Experiment-2 на борту спутников MetOp-A (GOME2A) и MetOp-B (GOME2B). На рис. 1. сравниваются данные измерений за 2005–2016 гг. озонометром М-124 со спутниковыми данными, обработанными различными алгоритмами. Представлены относительные разности между значениями М-124 и результатами спутниковых измерений, сглаженные во временном окне 365 дней.

Из анализа полученных данных видно, что средние разности ОСО за соответствующие периоды спутниковых наблюдений составили: М-124 — OMDO=16.9 е.Д., М-124 — OMDO1=16.8 е.Д., М-124 — OMTO=18.7 е.Д., М-124 — OMTO1=18.6 е.Д., М-124 — GOME2A=16.3 е.Д., М-124 — GOME2B=11.7 е.Д.

Измерения содержания NO₂

Измерения содержания NO₂ выполняются автоматизированным спектрофотометром, который регистрирует спектр рассеянного в зените солнечного излучения в диапазоне длин волн 430–450 нм со спектральным разрешением 0.9 нм. По деформации спектра определяется содержание двуокиси азота в

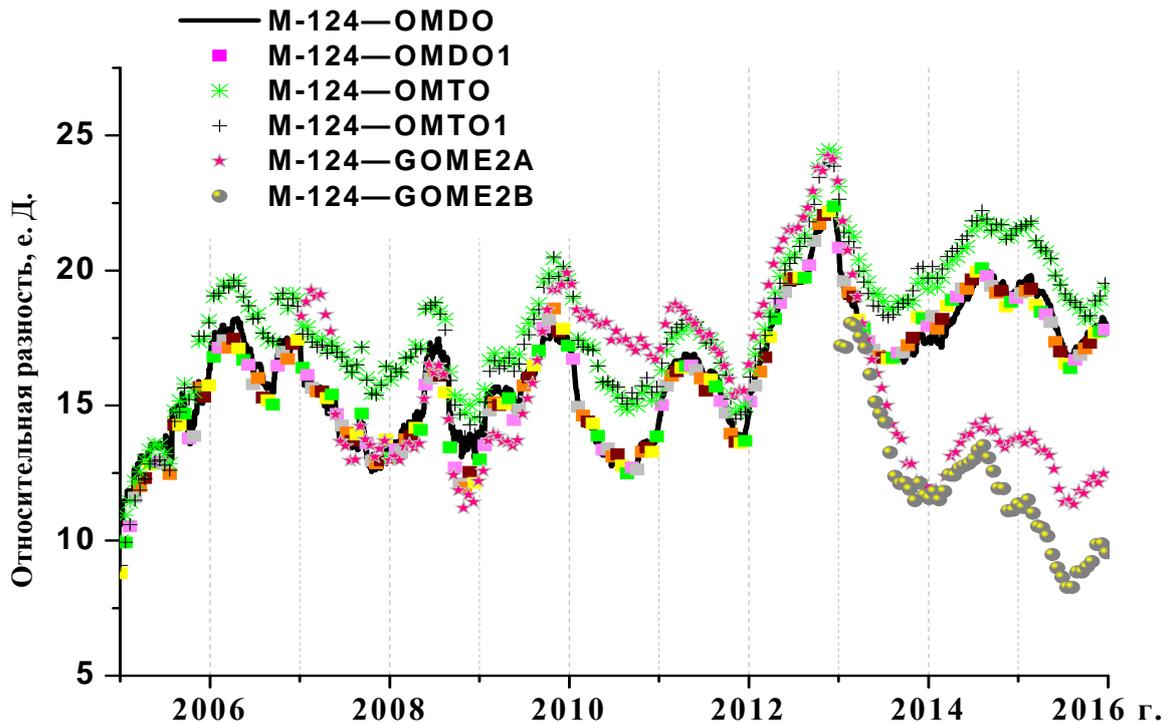


Рис.1. Относительные расхождения между результатами измерения ОСО с помощью озонметра М-124 и спутниковыми (сенсоры OMI, MetOp-A и MetOp-B) данными за период 2005–2016 гг.

наклонном столбе атмосферы, в зависимости от зенитного угла Солнца. Измерения проводятся в сумеречное время суток, когда солнечный зенитный угол изменяется от 83° до 96. Спутниковый прибор OMI, для определения содержания NO₂, использует метод DOAS, регистрируя спектр рассеянной атмосферой Земли солнечной радиации в широком диапазоне длин волн в ультрафиолетовой и видимой частях спектра, со спектральным разрешением 0.5 нм и пространственным разрешением 13x24 км² в надире [Boersma et al., 2002]. Для определения содержания NO₂ в вертикальном столбе атмосферы используется спектральный диапазон 415–465 нм.

На рис. 2. представлены значения ОС NO₂ в стратосферном столбе по результатам измерений со спутника (прибор OMI) и наземных измерений, интерполированным ко времени наблюдения со спутника.

Как видно из рисунка данные измерения со спутника (точки) достаточно точно совпадают с данными наземных измерений. Временные ряды имеют годовой ход с максимальными значениями летом и минимальными — зимой.

Стратосферная аэрозольная оптическая толщина

При анализе вероятности распространения продуктов извержения вулкана в конкретную точку наблюдений необходимо учитывать, что, как правило: продукты извержения тропического пояса распространяются со временем в атмосфере, в средних широтах – в полушарии, в котором произошло извержение, а в высоких широтах — преимущественно полярным переносом в соответствующий полярный регион.

Данные лидарных измерений оптических характеристик стратосферного аэрозоля 2006–2013 гг. в Томске использованы учеными США, Великобритании, Германии и Японии для анализа влияния повышенного содержания СА на радиационно-температурные изменения после серии взрывных извержений вулканов 2006–2011 гг. [Barnes et al., 2014].

При анализе использовались данные лидарных, радиозондовых, спутниковых и сети AERONET измерений. Лидары: Tomsk (56.5° N, 85.0° E), Ny Ålesund (78.9° N, 11.9° W). На рис. 3. приведен пример измерений стратосферной аэрозольной оптической толщи (САОТ) различными средствами наблюдений в разных широтных поясах, в том числе в Томске.

Спутниковые данные от Vernier и др. (голубые), Sato и др. (оранжевые) и AERONET (светло серые), а также 25–75 % неопределенность (темно-серые). Лидарные данные восстановлены от 15 км и выше (тонкие черные линии) и от 12 км и выше (толстые черные линии). Сплошные и пунктирные вертикальные линии показывают тропические и высокоширотные извержения, соответственно

Спутниковые наблюдения САОТ на высотах, превышающих 15 км, показали, что слабые вулканические извержения способны оказать возмущающее действие на проходящее солнечное излучение.

Заключение

При сравнении данных по ОСО лучшее согласие показывают данные измерений с помощью озонметра М-124 и данные на основе алгоритма OMDO. Как правило, измерения М-124 превышают спутниковые данные.

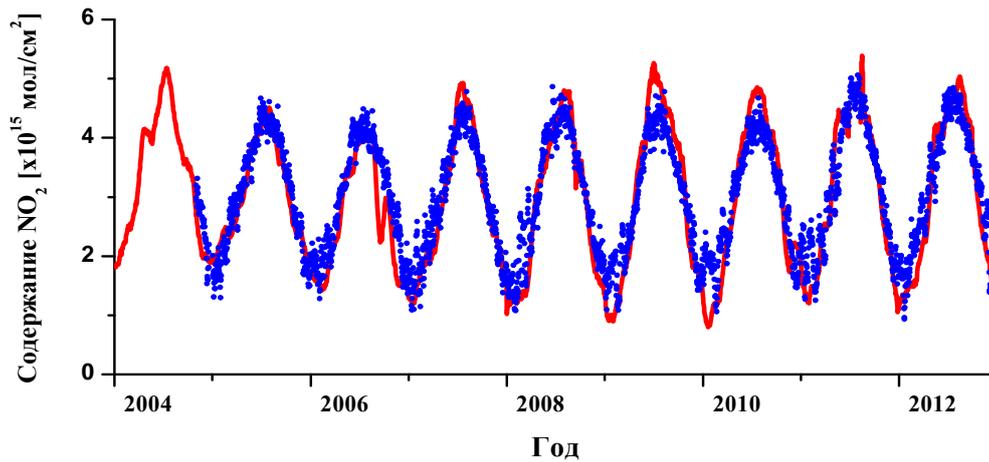


Рис. 2. Содержание NO_2 в вертикальном столбе стратосферы (10–50 км) над Томском по результатам измерений с помощью спутника (прибора OMI) и наземных измерений

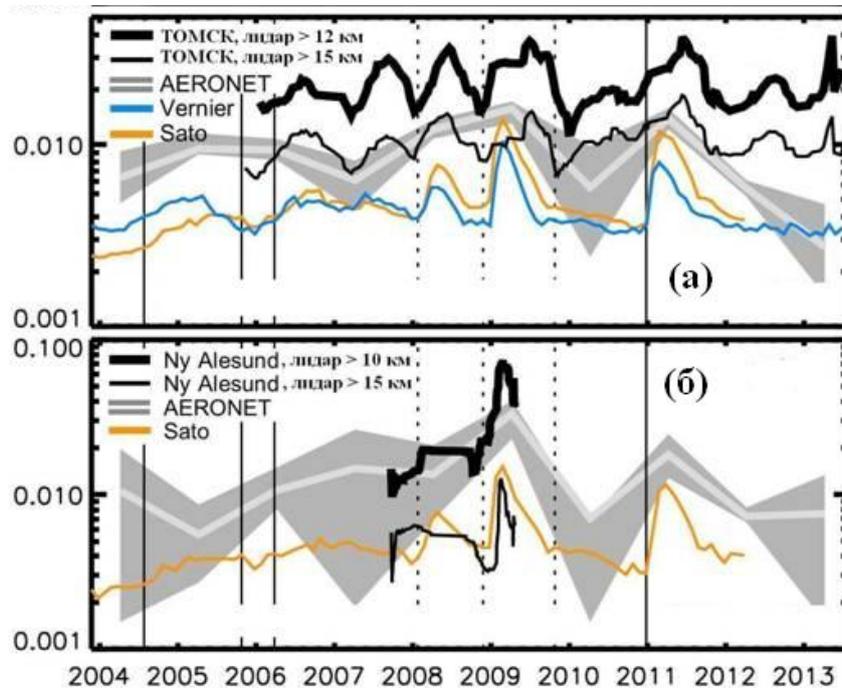


Рис. 3. Изменения САОТ за период 2004–2013 гг. между 45–60° N (а) и 60–90° N (б)

Сравнение наземных измерений NO_2 на СЛС со спутниковыми (аппаратура OMI) показало, что зимние значения содержания NO_2 по данным спутниковых наблюдений больше значений, получаемых из наземных наблюдений, а летние — меньше.

На основе лидарных, сетевых AERONET и радиозондовых наблюдений показано, что в имеющихся в настоящее время спутниковых данных не учитывается значительное количество вулканического аэрозоля, располагающегося на высотах между тропопаузой и 15 км в средних и высоких широтах и, соответственно, занижается полный радиационный форсинг вследствие недавних извержений. С учетом этих оценок в простой климатической модели определен глобальный форсинг вулканического аэрозоля, составивший -0.19 ± 0.09 Вт/м⁻² за период после 2000 г. В результате получена оценка глобального похолодания, составившего 0.05–0.12°C.

Сделан вывод о том, что недавние вулканические извержения привели к более значительному похолоданию после 2000 г., чем следует из спутниковых данных, в которых не учитывается влияние вулканического аэрозоля на высотах ниже 15 км.

Список литературы

- Barnes J.E., Ridley D.A., Solomon S. et al. Total volcanic stratospheric aerosol optical depths and implications for global climate change // *Geophys. Res. Lett.* 2014. DOI: 10.1002/2014GL061541.
- Boersma K.F., Busela E.J., Brinksma E.J., Gleason J.F. OMI algorithm theoretical basis document. Vol. IV OMI Trace Gas Algorithms // ATBD-OMI-02. NASA Goddard Space Flight Centre / Ed. K. Chance. Greenbelt, Md., 2002. P. 15–36. URL: <http://avdc.gsfc.nasa.gov/>