

СОПОСТАВЛЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ СПУТНИКОВЫХ И НАЗЕМНЫХ ДИСТАНЦИОННЫХ ИЗМЕРЕНИЙ СОДЕРЖАНИЯ NO₂ В ТРОПОСФЕРЕ И СТРАТОСФЕРЕ НАД ЗВЕНИГОРОДОМ, МОСКОВСКАЯ ОБЛАСТЬ

А.Н. ГРУЗДЕВ, А.С. ЕЛОХОВ

*Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН
Москва, Пыжевский пер., 3, a.n.gruzdev@mail.ru*

АННОТАЦИЯ

Выполнено сопоставление данных спутниковых измерений вертикального профиля NO₂ (SAGE II), содержания NO₂ в столбе стратосферы и тропосферы (прибор OMI на борту спутника Aura) с результатами дистанционных спектрометрических измерений содержания NO₂ на Звенигородской научной станции Института физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН.

ХАРАКТЕРИСТИКА НАЗЕМНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

Звенигородская научная станция Института физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН расположена в сельской местности западного подмосковья. Она входит в состав международной Сети по обнаружению изменений состава атмосферы (NDACC). Измерения содержания NO₂ выполняются регулярно с 1990 г. в утренние и вечерние сумерки по рассеянному из зенита солнечному излучению в видимом спектральном диапазоне. По результатам измерений восстанавливается вертикальное распределение NO₂ и по нему определяется содержание NO₂ в тропосфере и стратосфере. Звенигородская станция – единственная в мире станция с измерениями вертикального профиля NO₂ в стратосфере.

На рис. 1 приведены примеры вертикальных профилей NO₂, полученных в условиях чистого и загрязненного окислами азота приземного слоя атмосферы (ПСА). Обратим внимание на разрыв горизонтальной оси. Рисунок 1 показывает, что содержание NO₂ в ПСА во время эпизодов загрязнения может на порядок превышать общее содержание в стратосфере. Содержание NO₂ в ПСА в незагрязненных условиях близко к нулю.

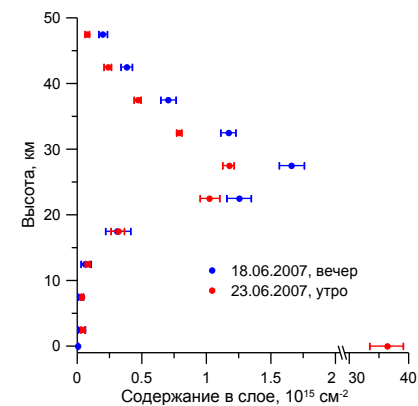


Рис. 1. Пример вертикальных профилей NO₂ на Звенигородской станции

РЕЗУЛЬТАТЫ СОПОСТАВЛЕНИЯ

На рис. 2 приведены примеры сопоставления вертикальных профилей NO₂ по наземным измерениям и со спутника SAGE II. Профили, соответствующие 1992 г., получены в условиях загрязнения нижней стратосферы вулканическим аэрозолем после извержения вулкана Пинатубо. Другой пример показывает профили NO₂, полученные в 1993 г., когда стратосфера в основном очистилась от вулканического аэрозоля. Видно, что спутниковый профиль, полученный в условиях чистой стратосферы, соответствует результатам наземного зондирования.

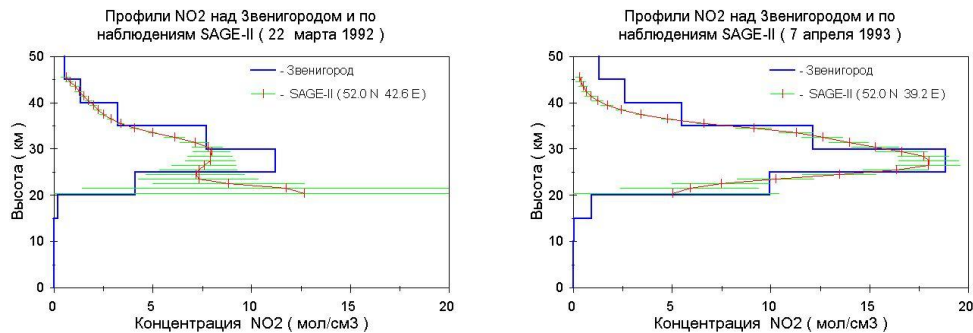


Рис. 2. Примеры сопоставления вертикальных профилей NO₂, полученных в наземных измерениях и измерениях со спутника SAGE II.

На рис. 3 приведены значения общего содержания NO₂ в вертикальном столбе стратосферы по результатам наземных измерений и измерений со спутника Aura с помощью прибора OMI. Значения содержания NO₂ по данным OMI, полученные по пролетам спутника в дневное время, как правило, заключены между утренними и вечерними значениями содержания NO₂ по результатам наземных измерений. Для сопоставления со спутниковыми данными данные наземных измерений в последующем интерполировались во времени к моменту пролета спутника над станцией.

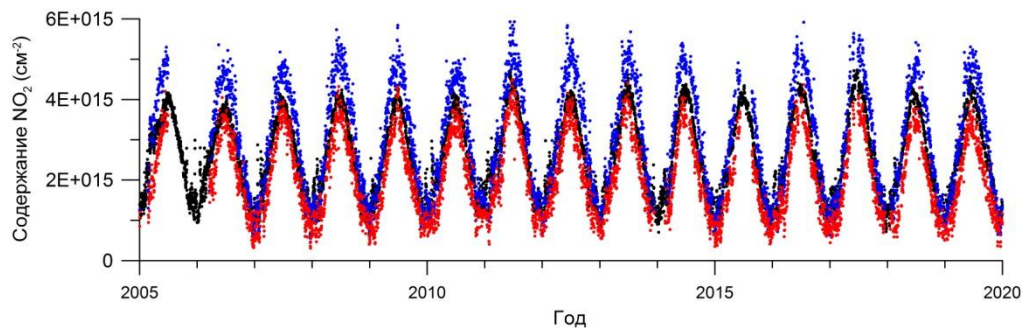


Рис. 3. Содержание NO₂ в столбе стратосферы по результатам утренних (красный цвет) и вечерних (синий цвет) наземных измерений и спутниковых измерений с помощью прибора OMI (черный цвет).

На рис. 4 приведены значения содержания NO₂ в столбе тропосферы по результатам наземных и спутниковых измерений с помощью прибора OMI. Спутниковые значения содержания NO₂ в

тропосфере, как правило, значительно больше значений, полученных в наземных измерениях. Вероятная причина состоит в том, что поле зрения спутникового прибора захватывает область с более высоким уровнем загрязнения.

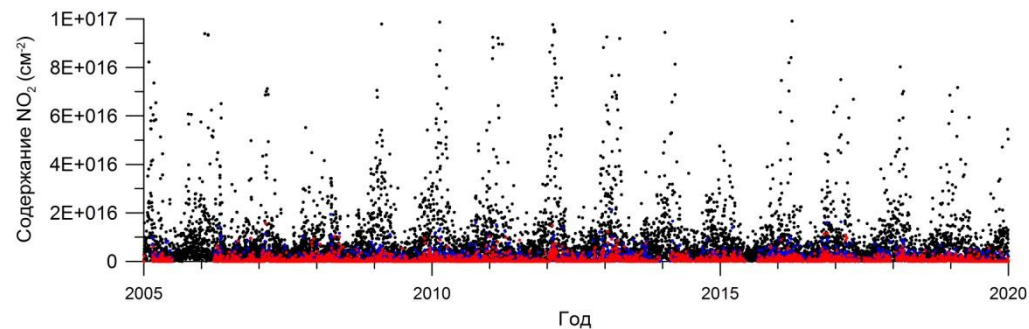


Рис. 4. Аналогично рис. 3, но для содержания NO₂ в столбе тропосферы.

На рис. 5 показаны сезонно зависимые разности и коэффициенты корреляции между спутниковыми (OMI) и наземными данными о содержаниях NO₂ в стратосферном и тропосферном столбах. Разность между стратосферными значениями в целом за год близка к нулю (см. самое правое значение на рис. 5а). Однако зимой и летом она значимо отличается от нуля: содержание NO₂ в стратосферном столбе по спутниковым данным зимой в среднем больше, а летом меньше, чем по данным наземных измерений. Одна из вероятных причин этого состоит в температурной зависимости сечений поглощения NO₂ в видимой области спектра.

Коэффициент корреляции между стратосферными значениями содержания NO₂ в целом за год близок к единице (0.97), но высокое значение обусловлено годовым ходом NO₂. При месячном сопоставлении коэффициент корреляции изменяется в пределах 0.5–0.8.

Различия между результатами спутниковых и наземных измерений тропосферного содержания NO₂ особенно велики зимой (рис. 5б), когда уровень загрязнения нижней тропосферы окислами азота максимален (рис. 4). Корреляция между спутниковыми и наземными данными в течение большей части года невелика: в пределах 0.2–0.4; но в зимне-весенний сезон она может повышаться до 0.5.

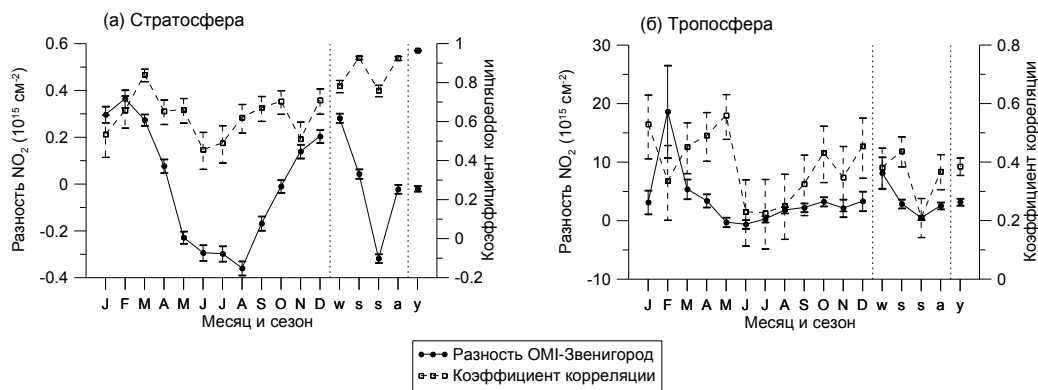


Рис. 5. Разность и коэффициент корреляции между значениями содержания NO₂ в стратосфере (а) и тропосфере (б), полученными по данным наземных и спутниковых (OMI) измерений, в зависимости от сезона и в целом за год. Вертикальные отрезки – 95%-е доверительные интервалы.

Рисунок 6 показывает разность между спутниковыми (OMI) и наземными данными о содержании NO₂ в стратосферном и тропосферном столбах в зависимости от облачности (в целом за год, в процентах относительно полусуммы спутниковых и наземных значений). В отсутствие облачности спутниковые измерения завышают стратосферное содержание NO₂ на величину, достигающую до 8%, а в облачных условиях несколько занижают его (менее, чем на 4%) по сравнению с результатами наземных измерений (рис. 6а).

Соответствие между тропосферными значениями содержания NO₂ по результатам спутниковых и наземных измерений также зависит от облачности (рис. 6б). Спутниковые значения при любой облачности в среднем больше значений, полученных из наземных измерений, и различие максимально при безоблачных условиях, превышая в среднем за год 60%.

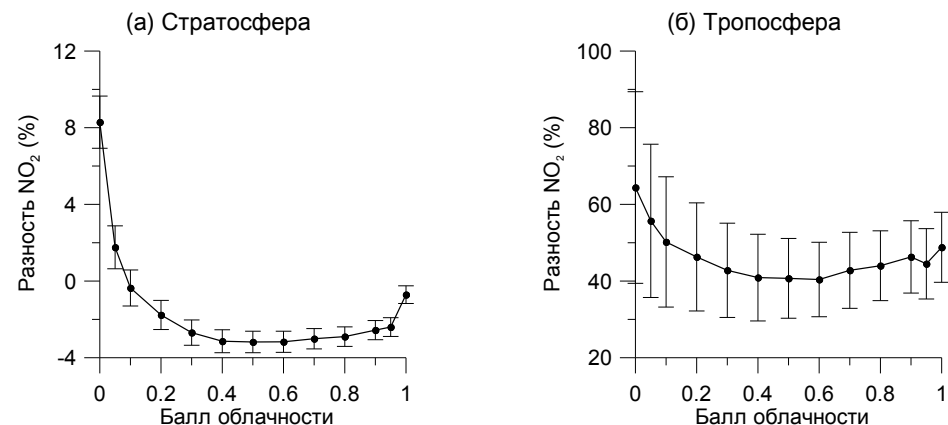


Рис. 6. Разность между значениями содержания NO₂ в стратосфере (а) и тропосфере (б), полученными по данным наземных и спутниковых (OMI) измерений, в зависимости от балла облачности. Вертикальные отрезки – 95%-е доверительные интервалы.

ВЫВОДЫ

Многолетние измерения вертикального распределения и общего содержания NO₂ в стратосфере и тропосфере на Звенигородской научной станции предоставляют уникальную возможность валидации результатов измерения содержания NO₂ в атмосфере со спутников, выполняемых с помощью различных приборов с применением различных методик.

Метод восстановления содержания NO₂ по результатам измерений на спутниковом приборе OMI неоднократно совершенствовался. В настоящее время получено в целом хорошее соответствие результатов измерений стратосферного содержания NO₂ со спутника с результатами измерений на Звенигородской станции. По тропосферному содержанию NO₂ получено значительное превышение данных измерений со спутника над локальными данными наземных измерений, что связано, вероятно, с неоднородностью горизонтального распределения нижнетропосферного NO₂ в окрестности московского мегаполиса и относительно большим полем зрения спутникового прибора.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, проект 20-05-00274.