

СОПОСТАВЛЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ЗОНДИРОВАНИЯ ВЕРТИКАЛЬНОГО ПРОФИЛЯ NO₂ В СТРАТОСФЕРЕ СО СПУТНИКА UARS И С ПОВЕРХНОСТИ ЗЕМЛИ В ОКРЕСТНОСТИ ЗВЕНИГОРОДА

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 вертикальных профилей NO₂ в стратосфере, полученных по результатам наземных дистанционных измерений на Звенигородской научной станции ИФА им. А.М. Обухова РАН и по измерениям с борта спутника UARS с помощью прибора HALOE в 1991–2005 гг. в окрестности станции.

ХАРАКТЕРИСТИКА НАЗЕМНЫХ И СПУТНИКОВЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

Звенигородская научная станция Института физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН (ЗНС) расположена в сельской местности западного Подмосковья. Она входит в состав Сети по обнаружению изменений состава атмосферы (Network for the Detection of Atmospheric Composition Change – NDACC). Измерения содержания NO₂ выполняются с 1990 г. в утренние и вечерние сумерки по рассеянному из зенита солнечному излучению видимой области спектра в диапазоне зенитных углов Солнца 84–96°. Вертикальное распределение NO₂ в высотном слое 0–50 км определяется путем решения обратной задачи [1, 2]. Профиль NO₂ представлен значениями содержания NO₂ в десяти слоях 5-километровой толщины и значением содержания в тонком приземном слое. Приземный слой содержит основную долю антропогенного NO₂ во время эпизодов загрязнения. При восстановлении профилей NO₂ учитываются фотохимические изменения NO₂, рассчитываемые с помощью фотохимической модели. Все значения содержания NO₂ в профиле приведены к зенитному углу Солнца 90°.

Примеры вертикальных профилей NO₂, полученных в условиях чистого и загрязненного приземного слоя, приведены на рис. 1. Содержание NO₂ в

тонком приземном слое атмосферы во время эпизодов загрязнения может значительно превышать интегральное содержание NO₂ в стратосфере.

Измерения с помощью прибора HALOE выполнялись затненным (occultation) методом по инфракрасному солнечному излучению [3]. Содержание (отношение смеси) NO₂ в высотном диапазоне 10–55 км определялось по поглощению в окрестности волнового числа 1600 см⁻¹. Для

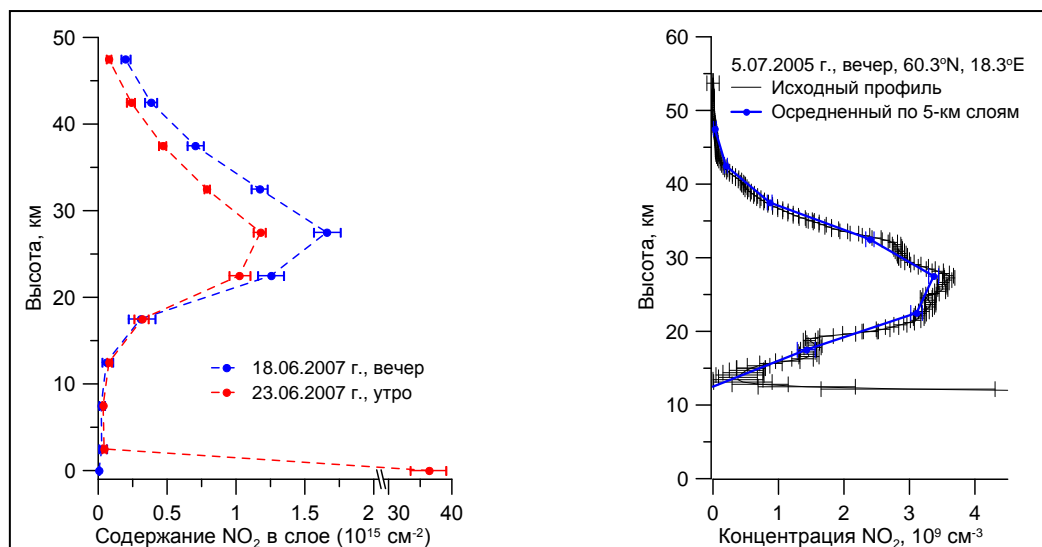


Рис. 1. Пример вертикальных профилей NO₂ по результатам наземных измерений

Рис. 2. Пример вертикального профиля NO₂ по результатам спутниковых измерений

сопоставления использованы данные версии 19 уровня 2 (<http://haloe.gats-inc.com/about/index.php>).

Для сопоставления отбирались данные HALOE над территорией с границами, отстоящими от ЗНС на 5 градусов по широте и 20 градусов по долготе, соответствующие по дате результатам наземных измерений. Значения концентрации NO_2 , полученные по измерениям со спутника, интегрировались в пределах 5-километровых слоев, соответствующих профилям из наземных измерений. На рис. 2 приведен пример типичного профиля NO_2 по исходным данным и профилю, осредненного по 5-км слоям.

Отметим хорошее соответствие положений высотного максимума NO_2 в слое 25–30 км по результатам наземных и спутниковых измерений, а также соответствие значений содержания NO_2 в слое максимума для вечерних профилей NO_2 на рис. 1 и 2 (с учетом различия единиц содержания NO_2 на рис. 1 и 2). Наряду с этим укажем на нереально высокие значения концентрации NO_2 в окрестности тропопаузы в спутниковых профилях, совершенно нетипичных для профилей, восстановленных по результатам наземного зондирования. Такие значения, составляющие в единицах отношения смеси несколько млрд⁻¹ (ppbv), характерны лишь для сильно загрязненного приземного слоя атмосферы.

РЕЗУЛЬТАТЫ СОПОСТАВЛЕНИЯ

На рис. 3 приведены средние профили NO_2 в стратосфере, полученные по результатам измерений на приборе HALOE в окрестности ЗНС и по соответствующим им результатам наземных измерений, отдельно для утренних и вечерних условий. Горизонтальные отрезки – 95% доверительные интервалы для средних значений. Средние значения, полученные по данным наземных и спутниковых измерений, близки друг к другу в слое 20–35 км. Средние значения содержания NO_2 в верхней стратосфере по спутниковым данным существенно меньше средних значений, полученных при наземном зондировании, а спутниковые значения содержания NO_2 в нижней стратосфере превосходят результаты наземных измерений. Содержание NO_2 в окрестности тропопаузы (слой 10–15 км) по спутниковым данным многократно превышает содержание по данным наземного зондирования. Резкое увеличение значений концентрации NO_2 в этом слое, полученных из спутниковых измерений (см. также рис. 2), указывают на то, что данные HALOE в слое тропопаузы нельзя считать репрезентативными.

Различия между данными спутникового и наземного зондирования представлены на рис. 4 в виде средней разности концентраций NO_2 . Отметим, что доверительные интервалы на рис. 4 характеризуют среднюю

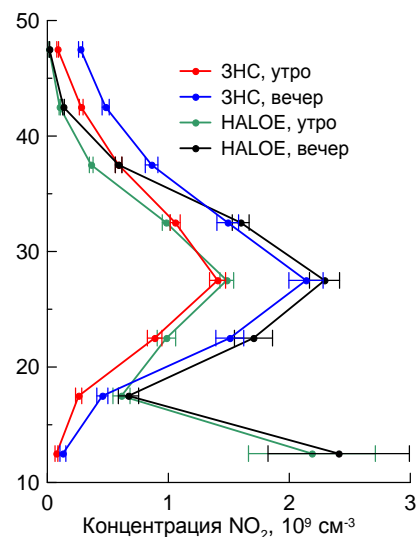


Рис. 3. Средние профили NO_2 по результатам наземных и спутниковых измерений утром и вечером

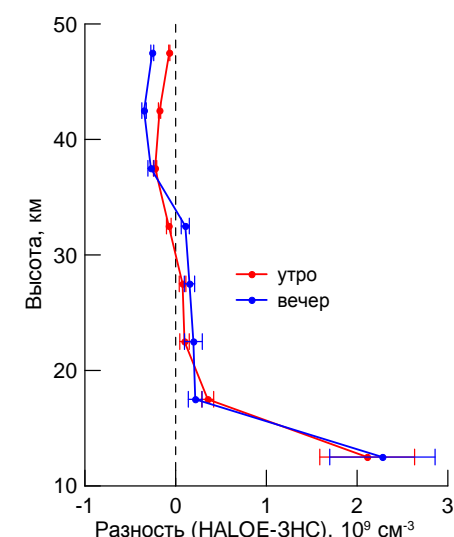


Рис. 4. Вертикальные профили средней разности между данными спутниковых и наземных измерений утром и вечером

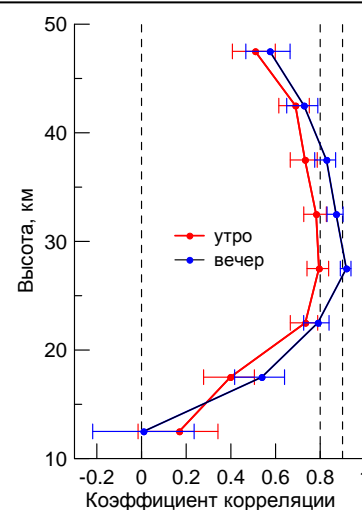


Рис. 5. Вертикальные распределения коэффициентов корреляции между данными HALOE и наземными данными утром и вечером

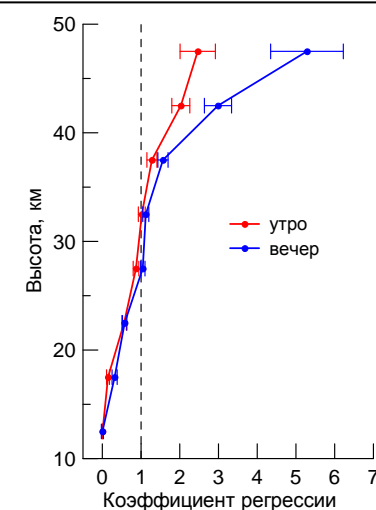


Рис. 6. Вертикальные распределения коэффициентов регрессии данных ЗНС на данные HALOE утром и вечером

разность, а не разность средних значений, приведенных на рис. 3. Рисунок 4 показывает, что средняя разность статистически значима на всех высотах (она с достоверностью 95% отлична от нуля). При этом соответствие по величине между собой данных наземных и спутниковых измерений в средней и верхней стратосфере (выше 20 км) в целом лучше утром, чем вечером.

На рис. 5 показаны вертикальные распределения коэффициентов корреляции между значениями концентрации NO_2 по данным HALOE и соответствующими им значениями концентрации, полученными из наземных измерений. Корреляция в слое средней стратосферы 20–35 км достаточно высокая, и для вечерних данных она лучше, чем для утренних данных. Корреляция в верхней и нижней стратосфере значительно хуже, а в окрестности тропопаузы она отсутствует.

На рис. 6 приведены вертикальные распределения коэффициентов регрессии концентрации NO_2 по результатам наземных измерений на значения концентрации по данным HALOE. Значения коэффициента регрессии близки к 1 в окрестности высотного максимума NO_2 . Отклонение величины коэффициента от 1 в сторону малых значений на меньших высотах и в сторону больших значений на больших высотах отражает как систематические расхождения профилей NO_2 , полученных в наземных и спутниковых измерениях (рис. 3, 4), так и различия амплитуд годового хода NO_2 по данным наземных и спутниковых измерений.

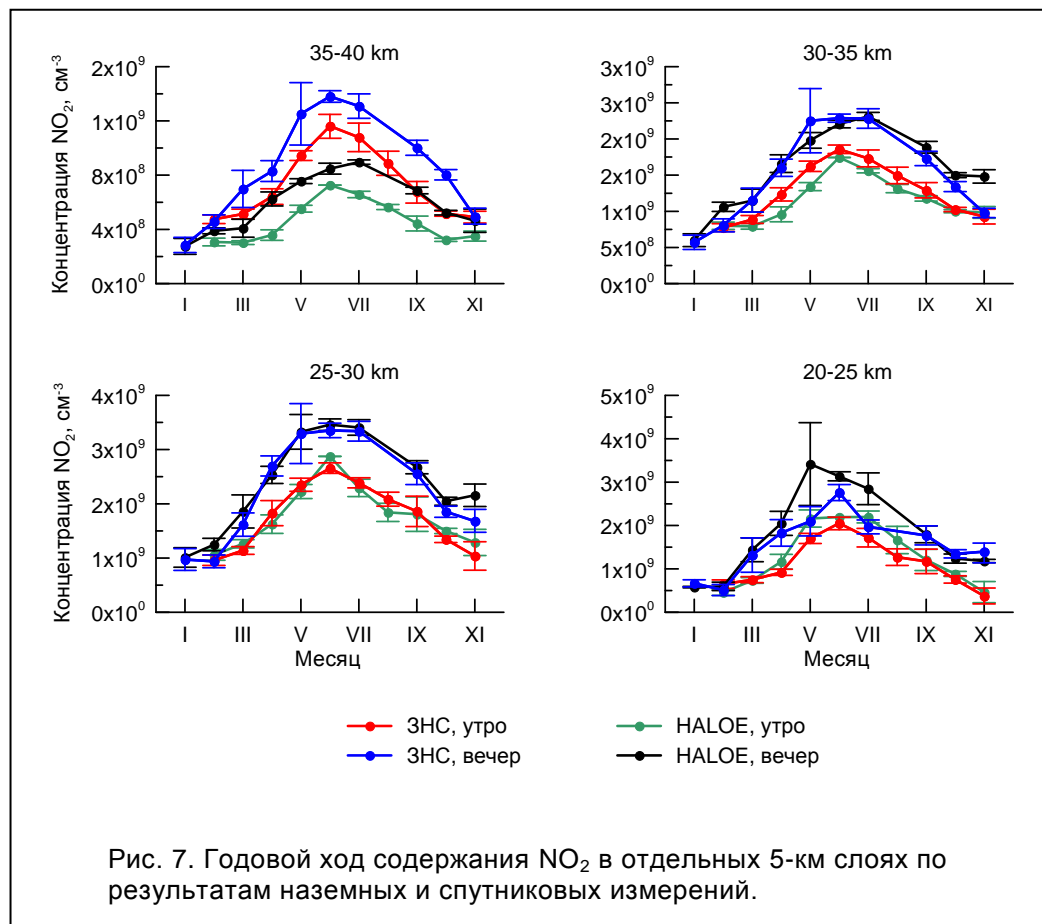
Средние за период сопоставления годовые ходы NO_2 в отдельных 5-км слоях, рассчитанные по данным HALOE и по наземным наблюдениям, приведены на рис. 7. Из него следует, что годовой ход NO_2 в окрестности высотного максимума NO_2 (в слоях 25–30 и 30–35 км) по результатам наземного зондирования достаточно хорошо соответствует годовому ходу по данным HALOE.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Выполненное сопоставление вертикальных профилей NO_2 показало, что результаты наземного зондирования на ЗНС и результаты измерений с помощью прибора HALOE достаточно хорошо соответствуют друг другу на высотах средней стратосферы – в окрестности высотного максимума концентрации NO_2 .

На больших высотах результаты наземного зондирования существенно завышают содержание NO_2 , получаемое в измерениях со спутника.

Содержание NO_2 в нижней стратосфере по данным наземных измерений ниже, чем по спутниковым данным. При этом содержание NO_2 в окрестности



тропопаузы, оцененное по спутниковым данным, нельзя, по-видимому, считать репрезентативным.

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

ЛИТЕРАТУРА

1. Елохов А.С., Груздев А.Н. Измерения общего содержания и вертикального распределения NO_2 на Звенигородской научной станции // Известия РАН. Физика атмосферы и океана. 2000. Т. 36. № 6. С. 831–846.
2. Gruzdev A.N., Elokhov A.S. Variability of stratospheric and tropospheric nitrogen dioxide observed by visible spectrophotometer at Zvenigorod, Russia // International Journal of Remote Sensing. 2011. Vol. 32. No 11. P. 3115–3127.
3. Russell J.M., Gordley L.L. et al. The Halogen Occultation Experiment // Journal of Geophysical Research. 1993. Vol. 98. No D6. P. 10777–10797.