

СОПОСТАВЛЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ МНОГОЛЕТНИХ ИЗМЕРЕНИЙ СОДЕРЖАНИЯ NO₂ С ПОМОЩЬЮ СПУТНИКОВОГО ПРИБОРА OMI С ДАННЫМИ СПЕКТРОМЕТРИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ НА СЕТИ NDACC

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 результатов измерений содержания NO₂ в вертикальных столбах стратосферы и тропосферы с помощью спутникового прибора OMI в 2004–2020 гг. с данными спектрометрических наземных измерений на станциях Сети для обнаружения изменений состава атмосферы (NDACC), включающей Звенигородскую научную станцию ИФА им. А.М. Обухова РАН (ЗНС).

ДААННЫЕ И МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЙ

Спектрометр OMI измеряет рассеянную атмосферой Земли солнечную радиацию в ультрафиолетовой и видимой областях спектра. Горизонтальное разрешение составляет 13×24 км² в надире. По результатам измерений восстанавливается содержание NO₂ в столбах стратосферы и тропосферы.

Для сопоставления использованы результаты измерений содержания NO₂ на десяти станциях NDACC, расположенных в разных широтных поясах от Арктики до Антарктики. Измерения выполняются по рассеянному из зенита солнечному излучению в видимой области спектра на восходе и заходе солнца. По измерениям на ЗНС определяются значения содержания NO₂ в столбах стратосферы и тропосферы, а на других станциях – общее содержание NO₂.

ПРИНЦИПЫ СОПОСТАВЛЕНИЯ ДАННЫХ

Данные наблюдений, предназначенные для сопоставления, должны по возможности максимально соответствовать друг другу по месту и времени наблюдений. Для сопоставления использованы данные OMI из 10-км окрестностей наземных станций. Результаты наземных наблюдений интерполировались ко времени измерений со спутника.

Интерполированные значения корректировались с помощью фотохимической модели.

РЕЗУЛЬТАТЫ СОПОСТАВЛЕНИЯ

Значения содержания NO₂ в столбах стратосферы и тропосферы в окрестности ЗНС по результатам спутниковых и наземных измерений приведены на рис. 1. Стратосферное содержание NO₂ испытывает значительный годовой ход с минимумом в январе и максимумом в июле, уверенно воспроизводимый наземными и спутниковыми данными. Результаты спутниковых и наземных измерений тропосферного содержания NO₂ хуже соответствуют друг другу из-за влияния антропогенного загрязнения приземного слоя атмосферы (ПСА).

Разность (невязка) между значениями стратосферного содержания NO₂, измеренными со спутника и в наземных измерениях на всех

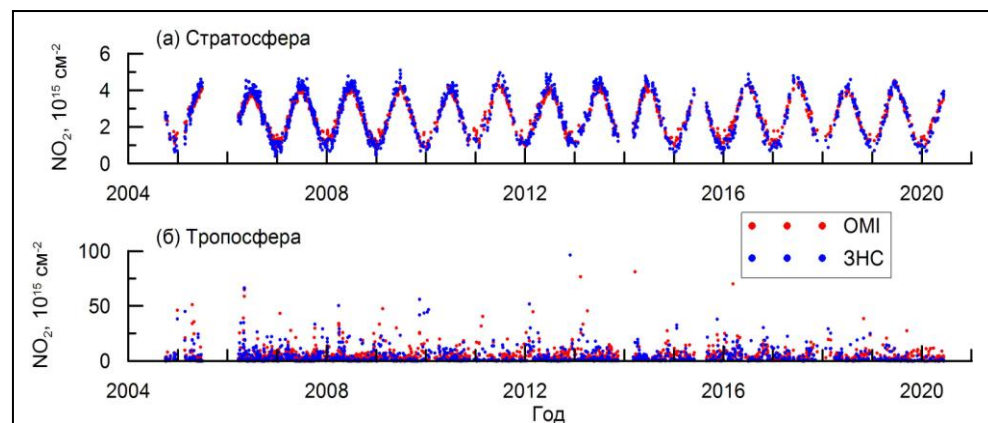
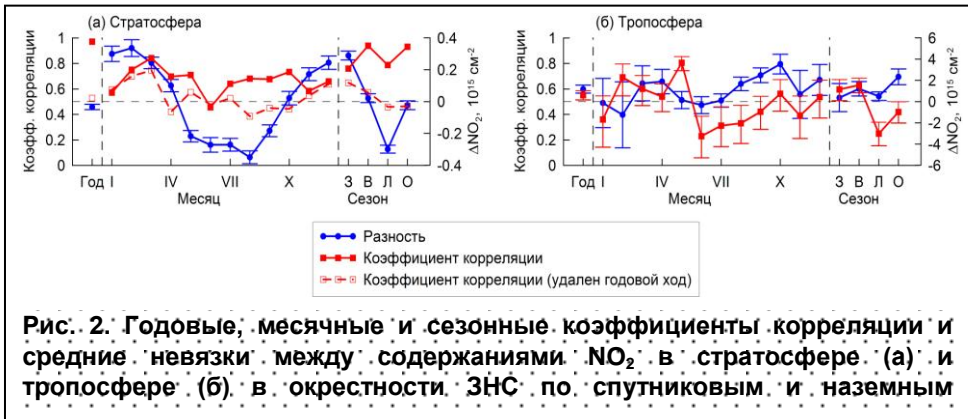


Рис. 1. Содержание NO₂ в столбах стратосферы (а) и тропосферы (б) в окрестности ЗНС по результатам спутниковых и наземных измерений.

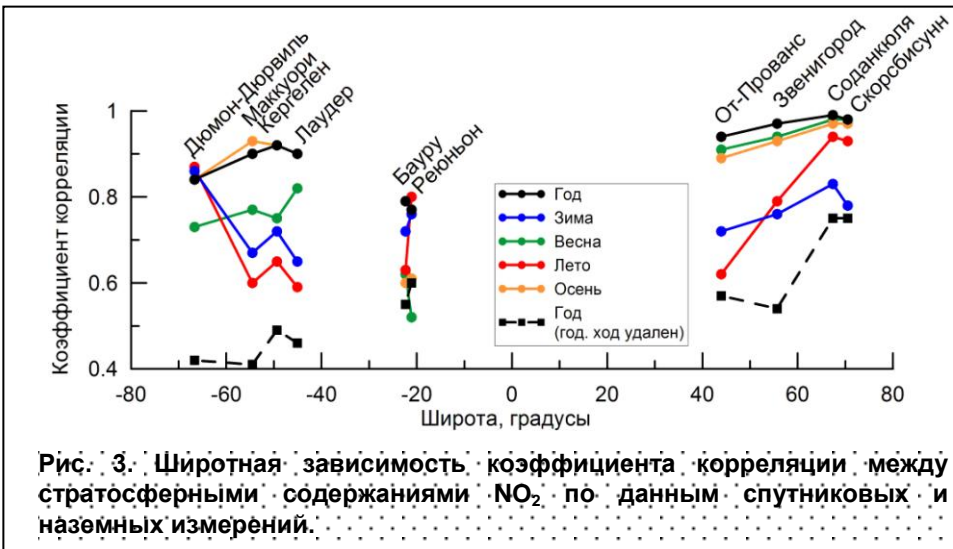


станциях имеют годовой ход с летним минимумом и зимне-весенним максимумом. Разности для ЗНС показаны на рис. 2 синим цветом.

Коэффициенты корреляции (КК) между спутниковыми и наземными значениями содержания NO_2 в сезонно зависимы. (сплошные кривые на рис. 2). Удаление годового хода из данных приводит к уменьшению КК между стратосферными данными (штриховая красная кривая на рис. 2а).

Наилучшая корреляция между содержаниями NO_2 в тропосферном столбе по спутниковым и наземным данным на ЗНС наблюдается весной, а наиболее слабая – летом (рис. 2б).

Широтный ход годовых и сезонных КК между данными OMI и данными наземных измерений на станциях NDACC приведен на рис. 3 сплошными

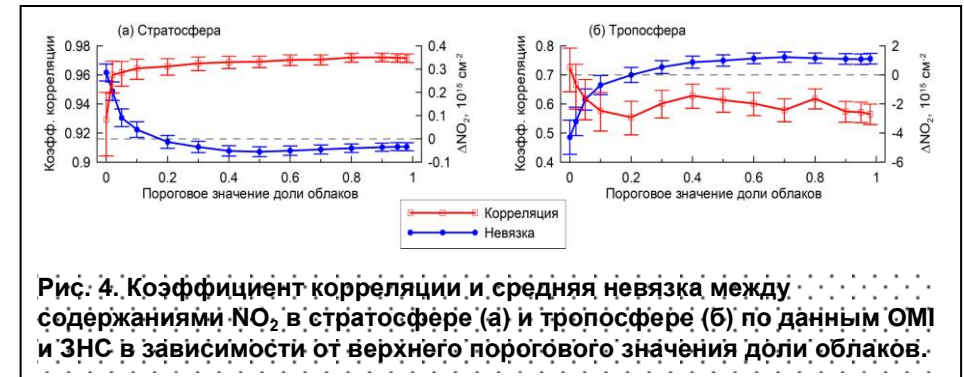


кривыми. Годовые значения КК в северном полушарии (СП) выше, чем в южном полушарии (ЮП) Весенние и осенние КК в СП несколько ниже годовых значений, а зимние и летние КК имеют более низкие значения. Годовые и все сезонные значения КК в СП в целом уменьшаются с уменьшением широты.

Широтная зависимость КК во внетропических широтах ЮП другая. Для зимних и летних КК она в общих чертах противоположна зависимости годовых значений. Самое низкое значение в Антарктике отмечено весной.

Тропические южнополушарные станции очень близки по широте, но расположены в разных регионах: одна на малонаселенном высоком островном плато в Индийском океане, а другая – в населенной местности в Бразилии. Годовые КК для них значительно меньше, чем для других станций.

Исключение годового хода приводит к уменьшению КК (штриховая черная кривая). Широтный ход КК характеризуется уменьшением в направлении от Арктики к Антарктиде с резким перепадом между высокими и средними широтами СП.



Соответствие между спутниковыми и наземными данными зависит от облачности (рис. 4). Зависимости КК и невязок стратосферных и тропосферных содержаний NO_2 от верхнего порогового значения доли облаков в поле зрения спутникового прибора в общих чертах противоположны друг другу. Корреляция между стратосферными содержаниями NO_2 в безоблачных условиях ухудшается, при этом увеличивается разность между данными. Корреляция между тропосферными содержаниями NO_2 в малооблачных условиях, наоборот, возрастает. При этом тропосферное содержание NO_2 по данным OMI в отсутствие облаков в среднем значительно меньше, а в облачных условиях больше значений, полученных в измерениях на ЗНС.

Ухудшение соответствия между данными ОМІ и данными ЗНС для стратосферной части NO_2 и усиление корреляции между данными для тропосферной части NO_2 в безоблачных условиях можно связать с загрязнением ПСА в окрестности ЗНС окислами азота. Другой фактор влияния на результаты сопоставления в отсутствие облаков – характер и альbedo подстилающей поверхности.

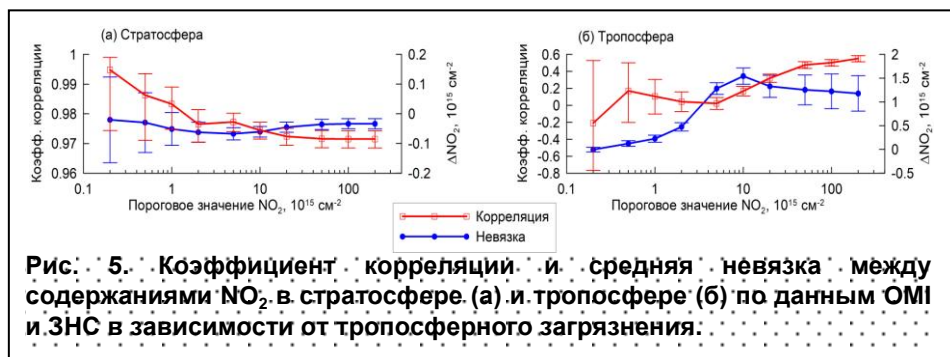


Рис. 5. Коэффициент корреляций и средняя невязка между содержаниями NO_2 в стратосфере (а) и тропосфере (б) по данным ОМІ и ЗНС в зависимости от тропосферного загрязнения.

Соответствие между спутниковыми и наземными данными также зависит от уровня загрязнения нижней тропосферы окислами азота (рис. 5). Корреляция между стратосферными содержаниями NO_2 увеличивается с уменьшением верхнего порогового значения тропосферного содержания NO_2 .

Корреляция между тропосферными содержаниями NO_2 практически отсутствует при слабом и умеренном загрязнении и возрастает с усилением загрязнения.

Отсутствие корреляции при малых значениях тропосферного содержания NO_2 может быть следствием того, что горизонтальный масштаб неоднородностей поля NO_2 в тропосфере невелик, то есть содержание NO_2 в окрестности ЗНС в первую очередь определяется местными источниками, а не переносом от крупных и более мощных источников загрязнения (например, со стороны московского мегаполиса или крупных автомобильных магистралей).

Средняя разность между спутниковыми и наземными содержаниями NO_2 в тропосферном столбе (синяя кривая на рис. 5б) близка к нулю при слабом загрязнении и увеличивается при сильном загрязнении.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Выполненное сопоставление показало, что соответствие между данными спутниковых и наземных измерений содержания NO_2 зависит от ряда факторов, которые могут по-разному влиять на результаты

измерений со спутника и с поверхности земли. Степень соответствия зависит от сезона, места измерений, облачных условий, загрязненности нижней тропосферы окислами азота. Между данными измерений на большинстве станций и данными ОМІ имеются систематические расхождения. В определенные сезоны и в определенных условиях согласие между данными может существенно ухудшаться.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, проект 20-05-00274 (измерения на ЗНС, анализ данных наземных измерений) и Российского научного фонда в рамках проекта № 21-17-00210 (анализ спутниковых данных).