

О возможности оценки объема выбросов NO_2 в городах по зенитным спектральным наблюдениям рассеянной солнечной радиации вблизи 450 нм

В.А. Иванов, А.С. Елохов, О.В. Постыляков*

*Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН
119017, г. Москва, Пыжевский пер., 3*

Поступила в редакцию 1.02.2012 г.

Рассматриваются методические вопросы использования измерений интегрального содержания NO_2 в пограничном слое атмосферы, выполняемых на стационарной станции наблюдения, для анализа источников этой примеси в городе. Такие измерения NO_2 регулярно выполняются на сети станций ИФА РАН в г. Москве. Проведены сравнения экспериментальных оценок содержания NO_2 с расчетами по модели переноса примеси в атмосфере ISCST3, выполненными на основе инвентаризации выбросов, которые показали хорошее согласие двух методов. Предложена методика оценки объема выбросов NO_2 в городских условиях с использованием измерений интегрального содержания NO_2 зенитным спектральным методом. Объем выбросов NO_2 автотранспортом г. Москвы в период наблюдений 2010–2011 гг. составил 88 кт/год.

Ключевые слова: метод зенитных наблюдений, метод дифференциальной спектроскопии, двуокись азота, атмосферный пограничный слой, оценка объема выбросов; zenith method, differential optical absorption spectroscopy, DOAS, nitrogen oxide, atmospheric boundary layer, estimation of NO_2 emissions.

Введение

Окислы азота ($\text{NO}_x = \text{NO} + \text{NO}_2$) являются одним из ключевых индикаторов антропогенного загрязнения воздуха городов и промышленных районов. Их основным источником (до 80% согласно [1–3]) является высокотемпературное горение топлива на промышленных установках и в автотранспорте. В процессе горения из присутствующего в топливе органического азота, а также после термического распада O_2 и N_2 воздуха при температуре выше 1800 К (механизм Зельдовича [4]) образуются окислы азота NO_x . Этот механизм приводит к превышению естественного фона NO_x над урбанизированными территориями на порядки.

Оценка антропогенных выбросов окислов азота NO_x в атмосферу производится, как правило, на основе инвентаризации выбросов промышленных предприятий и автотранспорта. Существующие экспериментальные методы измерения NO_x в атмосфере лишь косвенно связаны с объемом выбросов. Так, концентрационные измерения NO_x дают только приземные концентрации загрязнений, но не характеризуют содержание NO_x в столбе атмосферы. Спутниковые измерения NO_2 имеют горизонтальное пространственное разрешение в несколько десятков километров

(25 км у OMI [5], 30 км у SCHIAMACHY [6] и 80 км у GOME-2 [7]), в результате чего захватывают одновременно фоновые и загрязненные территории. Кроме того, их чувствительность быстро падает с уменьшением высоты исследуемого слоя атмосферы. Баллонные измерения NO_x , которые дают вертикальное распределение примеси в атмосфере, ограничены в использовании в силу своей дороговизны.

В статье [8] был предложен метод определения интегрального содержания (ИС) NO_2 в пограничном слое атмосферы (ПСА) по наблюдениям рассеянной в зените солнечной радиации. В настоящей статье мы рассматриваем методические вопросы использования предложенного метода [8] для оценки объема выбросов NO_2 на примере Москвы.

Зенитные спектральные наблюдения NO_2

ИФА им. А.М. Обухова РАН выполняет измерения ИС NO_2 в ПСА по единой методике на сети станций, расположенных в Москве, Московской области, Минске, Зотино (Сибирь), а также в ходе экспедиций на автомобиле и поезде (ТРОЙКА). Для измерений используется аппаратно-программный комплекс на базе спектрометров изображения Oriel MS257i, Oriel M260i, Shamrock 163i. Спектрометры регистрируют проходящее из зенита рассеянное солнечное излучение в полосе поглощения NO_2 на длинах

* Виктор Александрович Иванов (victor.ivanov@list.ru); Александр Сульманович Елохов (elokhov@mail.ru); Олег Вадимович Постыляков (oleg.postylyakov@gmail.com).

волн 430–460 нм. В настоящей статье анализируются данные двух станций, расположенных в черте г. Москвы: на территории Метеообсерватории МГУ им. М.В. Ломоносова (55,70° с.ш., 37,52° в.д., 194 м над ур. м.) и в здании ИФА РАН (55,74° с.ш., 37,62° в.д., 146 м над ур. м.), за период с июля 2010 по сентябрь 2011 г.

Для определения ИС NO₂ в ПСА была использована усовершенствованная версия методики восстановления, описанной в работе [8]. Методика [8] имеет погрешность 15–25% для индивидуального измерения в ясных условиях и в условиях сплошной облачности, лежащей выше слоя NO₂. В тех случаях, когда слой NO₂ пересекается с мутной средой (облачность, осадки, туман, дымка и т.п.), для точного определения ИС NO₂ необходима более детальная информация об оптических свойствах среды, чем это в реальности доступно. В результате погрешность определения ИС NO₂ сильно возрастает. Текущий алгоритм в таких условиях измерений из-за отсутствия необходимой информации дает систематически завышенные величины ИС NO₂.

Корректировка на содержание NO₂ в стратосфере выполнялась по сумеречным зенитным измерениям [9, 10], полученным на Звенигородской научной станции ИФА РАН. Используемый в методике нормированный модельный профиль концентрации антропогенного NO₂ строился в предположении постоянного отношения смеси внутри слоя перемешивания атмосферы. Высота слоя перемешивания h_{mix} бралась из банка данных Global Data Assimilation System (GDAS) [11]. Для характеристики восстанавливаемых ИС NO₂ в ПСА был введен индикатор качества q индивидуального измерения. Для его расчета использовались данные о балльности b_{cld} и о нижней границе облачности h_{cld} по данным метеостанции аэропорта Внуково (55,6° с.ш.; 37,4° в.д.; 209 м над ур. м.) [12] и высота слоя перемешивания h_{mix} из банка данных GDAS. Измерениям присваиваются следующие значения индикатора качества q :

$$\begin{aligned} q &= 10, \text{ если } b_{cld} \leq 1, \\ q &= 8, \text{ если } 1 < b_{cld} \leq 3, \\ q &= 6, \text{ если } b_{cld} \geq 8, h_{cld} \geq h_{mix}, \\ q &= 5, \text{ если } b_{cld} \geq 8, h_{cld} \geq 0,85h_{mix}, \\ q &= 4, \text{ если } 3 < b_{cld} < 8, h_{cld} \geq 0,85h_{mix}, \\ q &= 2, \text{ если } b_{cld} \geq 3, h_{cld} < 0,85h_{mix}, \\ q &= 0, \text{ если осадки или наклонное} \\ &\text{содержание NO}_2 > 20 \cdot 10^{16} \text{ мол/см}^2. \end{aligned}$$

В настоящей статье использовались только данные с индикатором качества $q \geq 5$. При $q = 4$ не ясно, какую модель рассеяния (для ясных условий или для облачности) использовать. При $q < 4$ значения ИС NO₂ могут быть систематически завышены.

Для оценки объема выбросов NO₂ со всей территории Москвы по наблюдениям стационарной станции были отобраны измерения, выполненные при скорости ветра не менее 2 м/с. При скорости

ветра 2 м/с воздушная масса от наиболее удаленных участков Московской кольцевой автомобильной дороги (МКАД) доходит до здания ИФА РАН (Метеообсерватории МГУ) за 160 (180) мин. Данные о направлении ветра с градацией в 2 румба (22,5°) на высоте 10 м с частотой 3 ч взяты из метеосводок аэропорта Внуково [10]. Измерения NO₂ усреднялись за трехчасовые интервалы, соответствующие частоте данных о направлении ветра. Доля наблюдений, выполненных при скорости ветра более 2 м/с, во всем массиве наблюдений с $q \geq 5$ показана на рис. 1. Средняя скорость ветра для этих наблюдений составила 3,8 м/с.

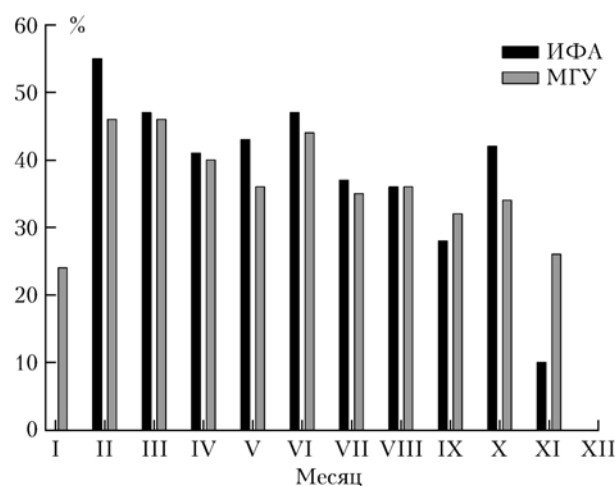


Рис. 1. Доля наблюдений, выполненных при скорости ветра более 2 м/с, в различные месяцы за анализируемый период

Средние значения ИС NO₂ в ПСА и погрешности их оценивания в зависимости от направления ветра показаны на рис. 2.

Погрешности σ рассчитаны как

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_i^n (x_i - \bar{x})^2}, \quad \bar{x} = \frac{1}{n} \sum_i^n x_i, \quad (1)$$

где n – количество трехчасовых интервалов, использованных при усреднении; x_i – средние за трехчасовые интервалы ИС NO₂. Для каждого направления ветра за период наблюдения получены, как правило, от 30 до 50 трехчасовых интервалов со скоростью не менее 2 м/с.

Полученная в эксперименте зависимость ИС NO₂ в ПСА от направления ветра отражает положение станций наблюдения в городе. При выбранной скорости ветра за время перемещения примеси над городом она претерпевает лишь несущественную фотохимическую трансформацию. Из-за этого наблюдается слабая зависимость NO₂ от направления ветра для здания ИФА РАН, расположенного в центре города. Для МГУ, расположенного в юго-западной части города (рис. 3), содержание примеси различается в 2 раза для разных направлений ветра.

В эксперименте выявлены вариации ИС NO₂ в 30–50% от средних значений для всех направлений.

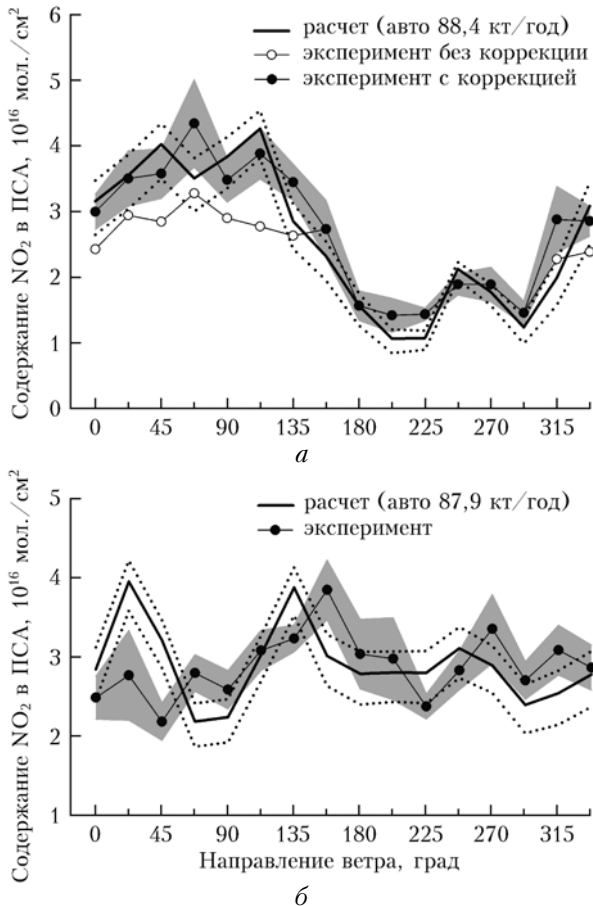


Рис. 2. Зависимость интегрального содержания NO_2 в ПСА от направления ветра. Сплошные тонкие кривые с кружками – средние за период наблюдения экспериментальные данные. Серым цветом очерчен интервал ошибок оценки среднего. Пунктирные кривые – расчет по модели ISCST3 на основе инвентаризированных объемов выбросов МНПЗ и ТЭЦ «Мосэнерго» с объемами выбросов от автотранспорта 70 кт/год (нижняя кривая) и 100 кт/год (верхняя); сплошная жирная кривая – такой же расчет, но с оценкой выбросов автотранспорта на основе наших экспериментальных данных: *a* – для станции наблюдения МГУ (с коррекцией и без коррекции на перепад высот); *b* – для станции наблюдения ИФА

Они связаны с существенным суточным и недельным ходом генерации NO_2 , вызываемым изменением интенсивности автомобильного движения, а также сезонным ходом температуры и освещенности – условий, влияющих на генерацию и разрушение NO_2 .

Далее сравниваются полученные экспериментальные оценки NO_2 с результатами расчета по модели переноса примеси на основе инвентаризированных выбросов промышленных предприятий и автотранспорта.

Дисперсионная модель переноса примеси в атмосфере ISCST3

Теоретический расчет содержания NO_2 в ПСА был выполнен по дисперсионной модели переноса газовой примеси в атмосфере Source Complex Short

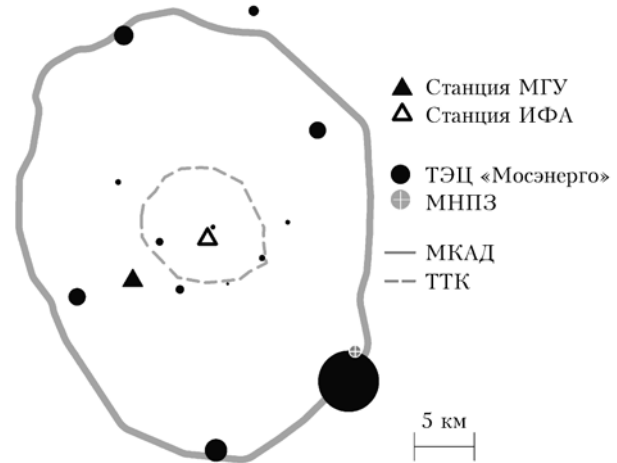


Рис. 3. Расположение инвентаризованных источников NO_2 и станций ИФА РАН наблюдения интегрального содержания NO_2 в ПСА в Москве. Черный (белый) треугольник – станция наблюдения на территории Метеообсерватории МГУ (в здании ИФА РАН). Радиусы кругов, обозначающих точечные источники, пропорциональны объемам их выбросов

Term dispersion model (ISCST3), U.S. Environmental Protection Agency (EPA) [13]. Согласно модели ISCST3 концентрация $C(x, y, z)$ примеси, выбрасываемой точечным источником, в точке с координатами (x, y, z) дается выражением [13]:

$$C(x, y, z) = \frac{KQVD}{2\pi u \sigma_y \sigma_z} \exp\left(-0,5 \frac{y^2}{\sigma_y^2}\right), \quad (2)$$

где K – коэффициент масштабирования величины выброса примеси; Q – скорость выброса вещества; V – коэффициент вертикального перемешивания; D – скорость распада примеси; σ_y – коэффициент горизонтальной дисперсии; σ_z – коэффициент вертикальной дисперсии; u – скорость ветра на эффективной высоте источника.

При этом начало системы координат находится в точке выброса примеси, ось x направлена по ветру от источника эмиссии, ось y лежит перпендикулярно к ней, а ось z направлена вверх.

При условии равномерного распределения примеси по высоте слоя перемешивания [13] коэффициент вертикального перемешивания

$$V = \sqrt{2\pi} \sigma_z / h_{mix}. \quad (3)$$

Проинтегрировав выражение (2) по высоте z с учетом (3), получаем формулу расчета интегрального содержания примеси в атмосфере $X(x, y)$:

$$X(x, y) = \frac{KQD}{2\pi u \sigma_z} \exp\left(-0,5 \frac{y^2}{\sigma_y^2}\right). \quad (4)$$

Коэффициент горизонтальной дисперсии σ_y зависит от стратификации атмосферы и вида подстилающей поверхности (город либо сельская местность). При расчетах использовалось значение коэффициента для слабонеустойчивой атмосферы в городской застройке $\sigma_y = 0,20$ [13].

Коэффициент скорости распада D связан с временем полураспада примеси T равенством [13]:

$$D = \exp\left(\frac{0,693x}{TU}\right). \quad (5)$$

Согласно [14] время полураспада NO_x составляет от 0,2 до 2 сут в зависимости от условий освещенности и температуры. В условиях Москвы по нашей оценке оно в среднем составляет 11 ч.

Данные инвентаризации выбросов NO_2 в Москве

Основными источниками NO_2 в Москве являются выбросы автотранспорта, теплоэлектростанций (ТЭЦ) Мосэнерго и Московского нефтеперерабатывающего завода (МНПЗ). Объемы выбросов оценены по приводимым ниже методикам.

В 2010 г. на МНПЗ было переработано 10,1 млн т нефти [15]. Согласно отчету Всемирного банка по загрязнению нефтеперерабатывающими заводами в среднем с 1 т переработанной нефти выбрасывается 0,3 кг NO_2 [16]. В таком случае в 2010 г. МНПЗ было выброшено около 3 кт NO_2 .

ОАО «Мосэнерго» приводит данные по выбросам NO_x в пересчете на NO_2 для каждой ТЭЦ в отчете за 2010 г. [17]. Суммарный выброс ТЭЦ Мосэнерго составляет 45,6 кт/год. Индивидуальные выбросы ТЭЦ приведены в таблице.

Суммарные выбросы NO_x в пересчете на NO_2 объектов ОАО «Мосэнерго» за 2010 год [17]

Электростанция	Выбросы NO_2 , кт/год
ГЭС-1	0,982
ТЭЦ-8	1,341
ТЭЦ-9	0,553
ТЭЦ-11	0,972
ТЭЦ-12	1,744
ТЭЦ-16	1,238
ТЭЦ-20	1,947
ТЭЦ-21	4,630
ТЭЦ-23	4,026
ТЭЦ-25	4,158
ТЭЦ-26	5,353
ТЭЦ-28	0,067
ГРЭС-3	0,127
ГТУ	0,036
ТЭЦ-6	0,090
ТЭЦ-17	0,970
ТЭЦ-22	14,984
ТЭЦ-27	2,438
<i>Всего</i>	<i>45,655</i>

Для оценки объема выбросов автотранспорта был проведен следующий расчет. В 2007 г. в Москве автотранспортом было выброшено 1140 кт/год загрязняющих веществ [18]. Доля NO_x в общих выбросах зависит от структуры транспорта и характера движения. На NO_x приходится по одним данным 6% [19], по другим данным 9% [20] общего выбро-

са. Это дает оценку объема выбросов NO_x от автотранспорта в рамках от 70 до 100 кт/год.

При моделировании выбросов автотранспорта мы предполагали, что плотность эмиссии NO_2 одинакова на всей территории, ограниченной МКАД, за исключением центральной части города, окруженной третьим транспортным кольцом (ТТК). В пределах ТТК плотности эмиссии NO_2 от автотранспорта брались в 1,33 раза больше, чем за его границей. Такое соотношение плотностей эмиссии соответствует соотношению результатов измерений приземных концентраций NO_2 в центре и спальных районах города, приводимых в отчете Мосэкомониторинга [21]. Для моделирования распределенной по площади эмиссии весь город в пределах МКАД покрывался сеткой с шагом 0,006° по широте и 0,009° долготы, в узлах которой размещались точечные источники примеси.

Положения источников NO_2 , учтенных в модельном расчете, показаны на рис. 3.

Сравнение расчетной и экспериментальной оценок ИС NO_2

Зависимости ИС NO_2 в ПСА от направления ветра, рассчитанные по модели переноса примеси в атмосфере ISCST3 по инвентаризированным источникам для сценариев выброса автотранспорта в 70 и 100 кт/год, приведены на рис. 2.

Для станции ИФА наблюдается слабая зависимость ИС NO_2 от направления ветра. Концентрации, полученные путем расчета и из эксперимента, хорошо согласуются. В расчетных содержаниях выделяются направления 22,5 и 135°, что связано с расположенными в этих направлениях ГРЭС-1 (объем выбросов 1 кт/год, расстояние 1 км) и ТЭЦ-22 (22,5 кт/год, 16 км) соответственно. Пик выбросов от ТЭЦ-22 по экспериментальной оценке ИС смещен в соседний сектор, возможно, из-за некоторого отличия направления ветра в ИФА от направления в месте его измерения (Внуково). Пик от ГРЭС-1 по экспериментальной оценке ИС статистически значим, хотя и менее выражен.

Для станции МГУ в расчетных ИС NO_2 наблюдается такая же зависимость от направления ветра, как и в экспериментальных данных: для ветра юго-западных направлений (от 180 до 292,5°) ИС минимальны, для северо-восточных направлений (от 22,5 до 135°) — максимальны. Как отмечалось ранее, это связано с расположением МГУ в юго-западной части города. Статистически значимый пик экспериментальных данных в направлении 250° связан с ТЭЦ-25 (объем выбросов 4,2 кт/год, расстояние 4 км).

Хотя величины ИС NO_2 , полученные двумя методами для станции МГУ, в целом согласуются, однако экспериментальные ИС для северо-восточных направлений оказываются меньше, чем расчетные. Отличия, вероятно, могут быть связаны с особенностями рельефа местности вблизи МГУ, которые модель ISCST3 не учитывает. А именно: в направлении 50° в 1,4 км от МГУ расположен правый, крутой берег Москва-реки (станция ИФА, расположена на

низком берегу в 6 км от этой возвышенности). Мы выполнили корректировку экспериментальных данных в предположении высокой горизонтальной однородности ПСА и, в частности, поля NO_2 в масштабе расстояния между станциями наблюдения. Ранее однородность горизонтальной структуры поля NO_2 отмечалась и в работе [22]. В пользу такого предположения говорит и то, что верхняя граница ПСА над центром города (ИФА) и его возвышенной частью (МГУ) находится на одной высоте над уровнем Москва-реки согласно данным содарных наблюдений [23]. Корректировка индивидуальных данных наблюдений ИС NO_2 n для ветра из направлений от 315 до 135° выполнялась по формуле

$$n_{\text{кор}} = \frac{h_{\text{mix}} + 48 \text{ м}}{h_{\text{mix}}} n. \quad (6)$$

Высота 48 м соответствует превышению высоты станции МГУ над станцией ИФА. Скорректированные экспериментальные данные $n_{\text{кор}}$ хорошо согласуются с модельным расчетом по модели ISCST3, выполненным для плоской подстилающей поверхности (см. рис. 2).

Оценка объема выбросов автотранспорта по экспериментальным данным

При инвентаризации источников для расчета объема выбросов NO_2 автотранспортом используются информация о структуре зарегистрированных автомобилей в городе и типичные значения выбросов для различных их классов [24]. Однако частота реального использования автомобилей различается, а объемы выбросов зависят от характера движения, в частности от наличия пробок. На этом основании выбросы автотранспорта в городе являются наиболее изменчивыми и наименее точно рассчитываемыми.

Для оценки объема выбросов автотранспорта по нашим экспериментальным данным мы разработали следующую методику.

Пусть $n_{\text{stat}}(\alpha)(n_{\text{автo}}^0(\alpha))$ – интегральные содержания NO_2 , рассчитанные по модели ISCST3 для всех стационарных источников (для автотранспорта при единичном суммарном выбросе), $n_{\text{exp}}(\alpha)$ – экспериментальные интегральные содержания NO_2 в зависимости от направления ветра α . С точностью до случайного шума $v(\alpha)$ должно выполняться равенство

$$n_{\text{exp}}(\alpha) = n_{\text{stat}}(\alpha) + Qn_{\text{автo}}^0(\alpha) + v(\alpha), \quad (7)$$

где Q – объем выбросов автотранспорта. Предполагалось, что шум $v(\alpha)$ имеет нулевое среднее и дисперсию $\sigma^2(\alpha)$, оцененную по формуле (1). Несмещенная оценка объема выбросов автотранспорта Q задается выражением

$$Q = \sum_{\alpha} \sigma(\alpha) \sum_{\alpha} \frac{n_{\text{exp}}(\alpha) - n_{\text{stat}}(\alpha)}{\sigma(\alpha) n_{\text{автo}}^0(\alpha)}. \quad (8)$$

Объем выбросов NO_2 автотранспорта (8) по данным станции ИФА равен $(87,9 \pm 2,2)$ кт/год, по скорректированным на перепад высот данным станции МГУ – $(88,4 \pm 2,2)$ кт/год.

Заключение

Проведенное сравнение оценок интегральных содержаний NO_2 в ПСА по зенитным спектральным наблюдениям [8] с содержаниями NO_2 , вычисленными по модели ISCST3, показало хорошее согласие двух методов.

Предложена методика оценки объемов эмиссии NO_2 в городских условиях с использованием измерений ИС NO_2 в ПСА зенитным спектральным методом.

Получена оценка объема выбросов NO_2 автотранспортом Москвы в период наблюдений 2010–2011 гг. – 88 кт/год по данным двух станций наблюдения ИФА РАН. Выполненные измерения подтверждают, что основным источником выбросов окислов азота в Москве является автотранспорт с долей 65% от общих выбросов примеси.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 11-05-01175.

1. Chow J.C. Megacities and Atmospheric Pollution // J. of the Air & Waste Management Association. 2004. V. 54. P. 1226–1235.
2. Delmas R. Global inventory of NO_x sources // Nutrient cycling in Agroecosystems. 1997. V. 48, N 1–2. P. 51–60.
3. Simpson D., Winiwarter W., Brjesson G. et al. Inventorying emissions from nature in Europe // J. Geophys. Res. D. 1999. V. 104, N 7. P. 8113–8152.
4. Zeldovich Y., Frank-Kamenetskii D., Sadovnikov P. Oxidation of nitrogen in combustion. Publ. House of the Academia of Sciences of USSR, 1947.
5. Anton M., Loyola D., Lopez M. et al. Annales Geophysical Comparison of GOME-2 / MetOp total ozone data with Brewer spectroradiometer data over the Iberian Peninsula // Ann. Geophys. 2009. V. 27. P. 1377–1386.
6. Boersma K.F., Eskes H.J., Veeffkind J.P. et al. Physics Near-real time retrieval of tropospheric NO_2 from OMI // Atmos. Chem. and Phys. 2007. P. 2103–2118.
7. Bovensmann H., Burrows J., Buchwitz M. et al. SCIAMACHY: Mission Objectives and Measurement Modes // J. Atmos. Sci. 1999. V. 56, N 2. P. 127–150.
8. Иванов В.А., Постыляков О.В. Оценка интегрального содержания NO_2 в пограничном слое атмосферы по наблюдениям рассеянной в зените солнечной радиации // Оптика атмосф. и океана. 2010. Т. 23, № 6. С. 471–474.
9. Иванов В.А., Елохов А.С., Постыляков О.В. О восстановлении вертикального профиля двуокиси азота в атмосфере Земли по сумеречным измерениям рассеянного в зените солнечного излучения // Сб. статей конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». 2011. Т. 8, № 3. С. 263–268.
10. Елохов А.С., Груздев А. Измерения общего содержания и вертикального распределения NO_2 на Звенигородской научной станции // Физ. атмосф. и океана. 2000. Т. 36, № 6. С. 831–846.
11. GDAS. Архив метеоданных «Global Data Assimilation System» [электронный ресурс]. URL: <http://www.ready.noaa.gov/READYamet.php>

12. *Архив погоды*. Архив погоды для аэропорта Внуково [электронный ресурс]. URL: http://rp5.ru/archive.php?wmo_id=27524&lang=ru
13. *ISC3*. User's guide for the industrial source complex (ISC3) dispersion models. 1995.
14. *Schumann S., Huntrieser H.* The global lightning-induced nitrogen oxides source // *Atmos. Chem. Phys.* 2007. N 7. P. 3823–3907.
15. *Московский НПЗ*. Годовой отчет «ОАО Московского НПЗ за 2010 г.» [электронный ресурс]. URL: http://mnpz.ru/content/mnpz.docs/annualreports/go24_06_2011.pdf
16. *World Bank*. Petroleum Refining. 1998 [электронный ресурс]. URL: <http://www.itf.org/ifcext/efcext/enviro.nsf/Content/EnvironmentalGuidelines>
17. *Мосэнерго*. Сведения об охране атмосферного воздуха 2010 [электронный ресурс]. URL: <http://www.mosenergo.ru/catalog/2011.aspx>
18. *Федеральный портал protown.ru*. Экологическая ситуация в Москве: [электронный ресурс]. URL: <http://www.protown.ru/russia/obl/articles/2748.html>
19. *Иванович Л.А.* Оценка воздействия выбросов автотранспортных средств на воздушную среду города и их минимизация: Канд. дис. Красноярск, 2004. 150 с.
20. *Сайт экология Мурманска*. Экологический отчет по Мурманской области 2009 [электронный ресурс]. URL: http://www.murman.ru/ecology/comitet/report97/voz_osv.htm
21. *Кульбачевский А.* О состоянии окружающей среды в городе Москве в 2010 году: Тех. доклад. М.: МосЭко-Мониторинг, 2010.
22. *Еланский Н.Ф., Мохов И.И., Беликов И.Б., Березина Е.В., Елохов А.С., Иванов В.А., Панкратова Н.В., Постыляков О.В., Сафронов А.Н., Скороход А.И., Шумский Р.А.* Газовые примеси в атмосфере над Москвой летом 2010 г. // *Изв. РАН. Физ. атмосф. и океана*. 2011. Т. 47, № 6. С. 729–738.
23. *Yushkov V.P.* Mean wind field in the urban atmospheric boundary layer by sodar data. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 14-th Int. Sympos. for the Advancement of Boundary Layer Remote Sensing. Denmark 23–25 June 2008 / Eds.: J. Mann, F. Bingöl, M. Courtney, H.E. Jörgensen, P. Lindelöw, T. Mikkelsen, A. Pena, M. Sjöholm, R. Wagner. IOP Publ. 2008. V. 1. 012004. P. 1–9.
24. *Рузский А.В. и др.* Расчетная инструкция (методика) по инвентаризации выбросов загрязняющих веществ от автотранспортных средств на территории крупнейших городов // Научно-исследовательский институт автомобильного транспорта (ОАО «НИИАТ»). М., 2008. 45 с.

***V.A. Ivanov, A.S. Elokhov, O.V. Postylyakov.* On the possibility of estimating the volume of NO₂ emissions in cities using zenith spectral observations of diffuse solar radiation near 450 nm.**

The paper deals with methodological issues of using the measurements of the NO₂ integral content in the atmospheric boundary layer to analyze the NO₂ sources in a city. The NO₂ measurements are carried regularly on stations of the IAP RAS network in Moscow. Comparisons of the experimental NO₂ content estimates with calculations based on the pollutant transport model ISCST3, performed on the basis of the emissions inventory, show a good agreement between the two approaches. We propose the method of estimating the emissions of NO₂ in an urban environment, using the NO₂ integral content, determined by zenith spectral method. During observation period 2010–2011 NO₂ emissions by vehicles in Moscow amounted to 88 kt/year.