

С.П. Смышляев, А.В. Дикинис, М.А. Моцаков

**ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ИЗМЕНЧИВОСТИ
ГАЗОВОГО СОСТАВА АТМОСФЕРЫ
В РАЙОНАХ РАЗВИТОЙ ТРАНСПОРТНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ**

S.P. Smyshlyayev, A.V. Dikinis, M.A. Motsakov

**AN ATMOSPHERIC GASEOUS COMPOSITION NUMERICAL
MODELING FOR THE REGIONS WITH NUMERIOUS
TRANSPORT OBJECTS**

Модель химического состава приземного воздуха используется для численного моделирования влияния транспортных выбросов на содержание азотных газов и озона в Северо-Западном регионе РФ. Результаты расчетов показали, что выбросы судового транспорта существенно влияют на содержание газов в приземном слое, причем максимальное влияние не совпадает с районом выбросов.

Ключевые слова: качество воздуха, химическое загрязнение атмосферы, моделирование, выбросы транспорта.

A model of the atmospheric boundary layer chemical composition is used to assess the transport emissions impact on the nitrogen and ozone content in North-West region of Russian Federation. Results of numerical experiments demonstrate that ship emission essentially impact on the boundary layer air quality, and region of maximum influence is different than emission localization.

Key words: air quality, atmospheric chemical pollution, modeling, transport emissions.

Введение

Транспорт является одним из основных источников загрязнения окружающей среды [1]. При этом практически во всех исследованиях основным видом транспорта, вносящим существенный вклад в загрязнение окружающей среды, считается автотранспорт [2]. В крупных городах мира его вклад в общие источники загрязнения природной среды составляет до 80 % [3]. Основными видами воздействия автотранспорта на природную среду являются загрязнение воздуха и почвы. Основными компонентами, загрязняющими атмосферу в отработанных газах автомобилей, являются окись углерода, окислы азота, углеводороды, сажа и аэрозольные соединения свинца [4]. При оценке влияния транспорта на уровень загрязнения природной среды основной упор делается, во-первых, на автодороги, а во-вторых, на контроль загрязнения с помощью локальных пунктов измерения содержания атмосферных газов [5].

Вместе с тем, неавтомобильные виды транспорта также вносят существенный вклад в загрязнение окружающей среды, причем этот вклад может стать преобладающим в пунктах начала и окончания маршрутов объектов транспортной инфраструктуры, таких как аэропорты, морские порты и гавани [6]. Кроме того, помимо традиционно рассматриваемых транспортных источников загряз-

нения атмосферы выхлопными газами автомобильных двигателей, существенный вклад в загрязнение природной среды могут внести другие источники объектов транспортной инфраструктуры такие, как топливные испарения и картерные газы. Наконец, в начальных и конечных пунктах маршрутов транспорта существенный вклад в загрязнение окружающей среды могут вносить и объекты транспортной инфраструктуры, такие как службы заправки и технического обслуживания самолетов, судов, автобусов и автомобилей, а также образование сточных вод от мойки и производственных участков объектов транспортной инфраструктуры. В результате этого, даже такой экологически чистый транспорт, как железнодорожный, использующий, в основном, электровозы, в районах вокзалов может значительно загрязнять окружающую среду из-за роли объектов инфраструктуры вокзалов.

Для контроля за влиянием выбросов объектов транспортной инфраструктуры на качество воздуха необходимо развивать численные модели, позволяющие количественно оценивать изменчивость химического состава атмосферы под воздействием эмиссий объектов транспортной инфраструктуры. Целью настоящей работы является разработка методов учета выбросов транспорта в пунктах начала и конца маршрутов объектов транспортной инфраструктуры в моделях химической погоды.

Влияние транспорта на загрязнение атмосферы

Транспорт играл, играет и будет играть фундаментальную роль в перевозке грузов в глобальном масштабе, покрывая около 80–90 % перевозок [7]. Такое широкое использование паромных перевозок, прежде всего, объясняется необходимостью дальней транспортировки больших объемов сырых материалов, таких как уголь, нефть и продуктов их переработки, а также промышленных продуктов. Использование топлива для транспортных расходов постоянно растет в течение последних десятилетий (рис. 1).

С начала 80х годов XX века до конца нулевых годов потребление топлива транспортом выросло практически в два раза, как видно из рис. 1. Соответственно, примерно настолько же увеличилось и воздействие выбросов объектов транспортной инфраструктуры на атмосферу, хотя за счет улучшения качества топлива выбросы некоторых элементов росли не так быстро, как потребление топлива [9]. Среди продуктов сгорания топлива в двигателях объектов транспортной инфраструктуры по своему воздействию на химический состав атмосферы можно выделить: углекислый газ (CO_2), окислы азота (NO_x), двуокись серы (SO_2), летучие органические компоненты (ЛОК), аэрозольные частицы и сажу (черный углерод) [10].

При преобладающем потреблении топлива автомобильным транспортом по сравнению с авиационным и судовым транспортом, выбросы окислов азота и аэрозольных частиц судовым и автомобильным транспортом примерно одинаковы, а выбросы серных газов для судового транспорта превосходят выбросы

автомобильного транспорта в три раза. Только выбросы углекислого газа примерно соответствуют количеству потребляемого топлива. Такая разница во вкладе разных видов транспорта в загрязнение атмосферы связана с разной степенью контроля качества используемого топлива и использованием систем очистки выхлопных газов в автомобильном, авиационном и судовом транспорте.

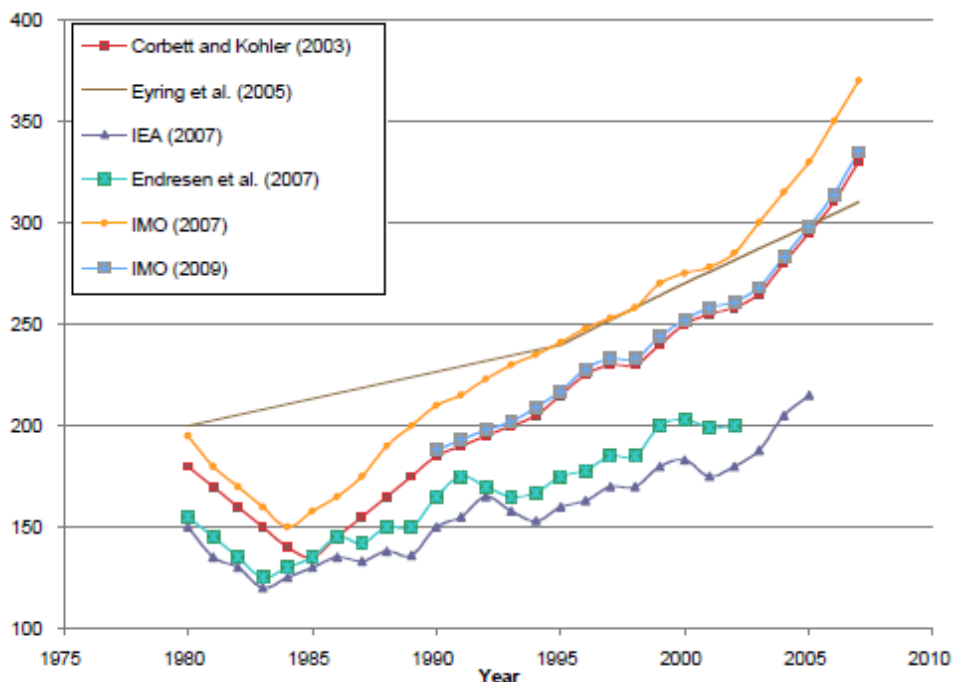


Рис. 1. Использование топлива объектами транспортной инфраструктуры в глобальном масштабе (в мегатоннах в год) [8]

Сравнение вклада различных видов транспорта в общий поток загрязняющих веществ в атмосферу, как показано на рис. 2, различается для разных загрязнителей. Если автомобильное и авиационное топливо подвергаются высокой степени очистки и контроля за содержанием в нем веществ, сжигание которых может привести к загрязнению окружающей среды, то для судового транспорта до последнего времени контроль был очень слабым [13]. Даже принятые в последнее время меры по контролю за составом судового топлива направлены, прежде всего, на сокращение содержания серных газов, которые, в значительной степени вносят вклад в общее загрязнение атмосферы в населенных районах. Между тем, выбросы окислов азота судовым транспортом по-прежнему слабо контролируются, поэтому с учетом ожидаемого роста транспортных перевозок будет возрастать и роль транспортных выбросов окислов азота в загрязнении воздуха [14].

В настоящей работе выбросы наземного и судового транспорта добавлялись в качестве нижнего граничного условия в модель химического состава

приземного слоя Северо-Западного региона РФ [15, 16]. Вклад судовых выбросов окислов азота в общие потоки азотных составляющих, включенных в численные модельные расчеты, в процентах показан на рис. 3.

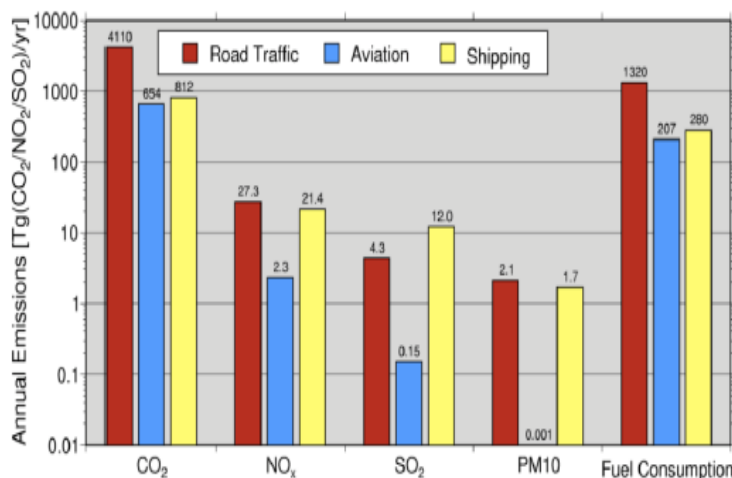


Рис. 2. Распределение глобальных выбросов загрязняющих веществ разными видами транспорта (красный – автомобильный, синий – авиационный, желтый – пароходный) [11]

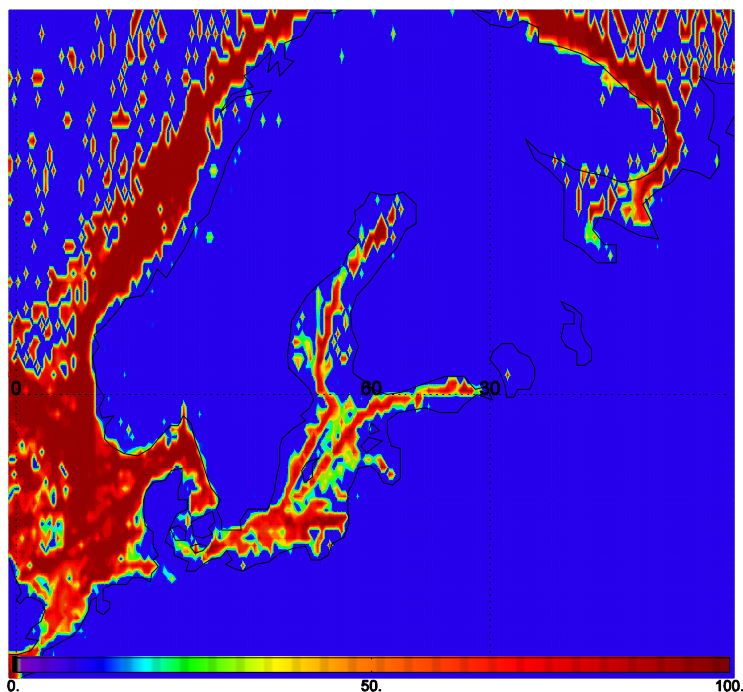


Рис. 3. Вклад судовых выбросов окислов азота в общие потоки азотных составляющих в Северо-Западном регионе (по данным базы EDGAR [17])

Особенность окислов азота заключается в быстром переходе их из одной компоненты в другую при сохранении общего содержания нечетного азота [18]. В результате этого содержание окислов азота может измениться на более широкой территории, чем охвачены только выбросами окислов азота. Расчетное изменение содержания окислов азота в Северо-Западном регионе РФ после добавления выбросов судового транспорта показано на рис. 4. Из-за долгого времени жизни окислов азота локализации наибольших изменений их концентрации в результате увеличения выбросов за счет судового транспорта определяется не местоположением выбросов, метеорологическими и химическими процессами.

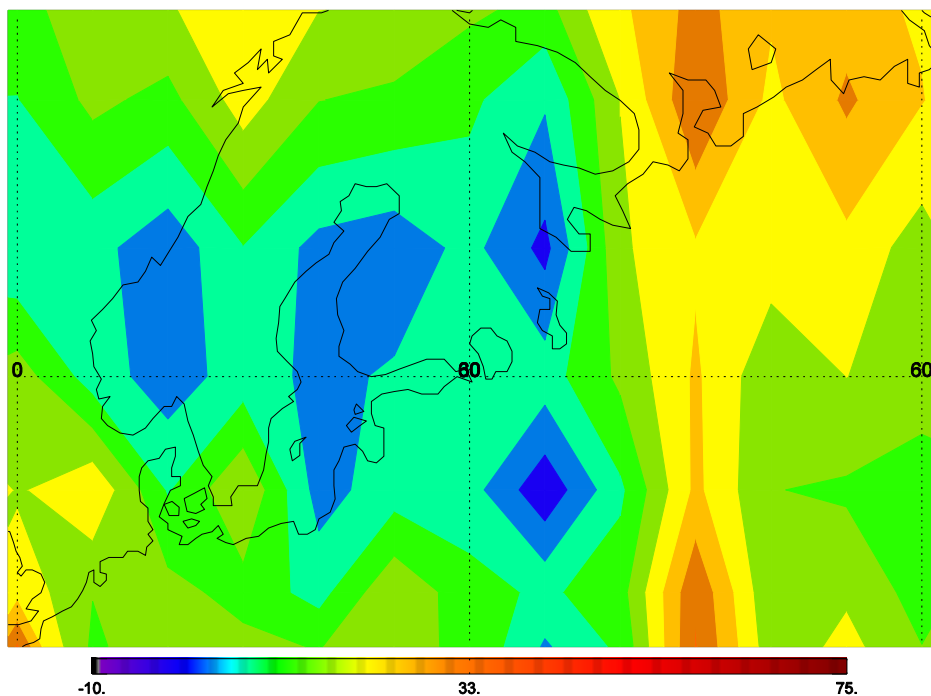


Рис. 4. Процентное изменение содержания окислов азота в приземном слое атмосферы после добавления в модель судового транспорта

Соответствующие изменения концентраций приземного озона показаны на рис. 5. Содержание приземного озона определяется соотношением между азотными и углеводородными химическими компонентами [19]. В результате этого изменение концентраций озона после изменения выбросов судового транспорта в основном увеличивается не в районах выбросов и увеличения содержания окислов азота, а там где озон в большей степени чувствителен к изменению концентраций окислов азота. Такими районами являются области с малыми концентрациями азотных составляющих, т.е. в «чистых» районах северной части Северо-Западного региона.

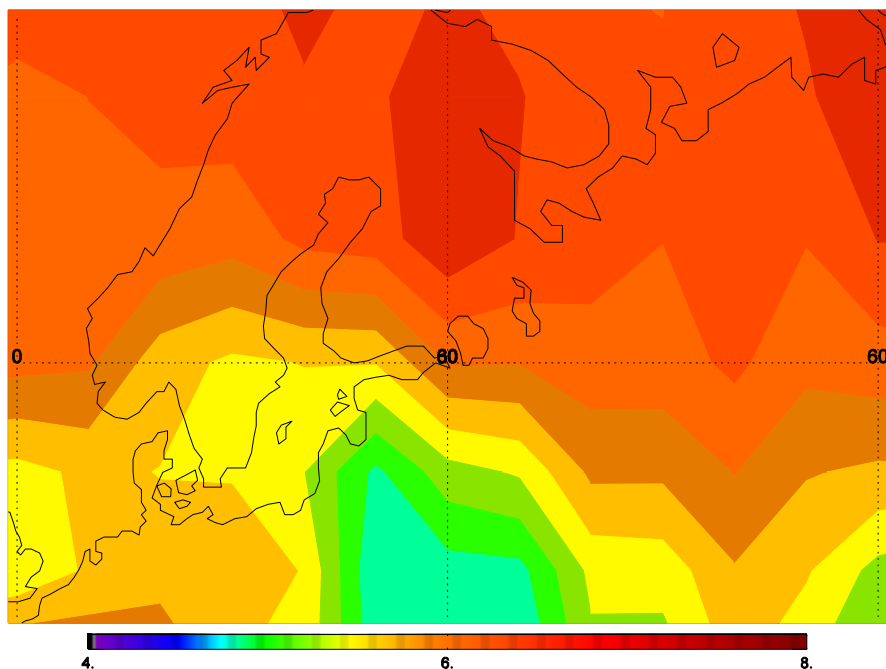


Рис. 5. Процентное изменение концентрации озона в приземном слое атмосферы после добавления в модель судового транспорта

Заключение

Выполнено численное моделирование влияния выбросов объектов транспортной инфраструктуры и, прежде всего, судового транспорта на изменение качества воздуха в Северо-Западном регионе РФ. Для оценки степени влияния судовых выбросов на содержание окислов азота и приземный озон выполнено два численных эксперимента: без учета влияния судовых выбросов и с учетом вклада судового транспорта.

Результаты расчетов показали, что вклад судового транспорта в содержание окислов азота является существенным и, при этом, не ограничивается местами выбросов. Более того, основные изменения содержания окислов азота отмечаются в отдаленных от морских акваторий районах, что связано с большим временем жизни окислов азота в атмосфере. Наибольшее изменение содержания озона при этом происходит в чистых районах северной части Северо-Западного региона, где чувствительность озона к изменениям окислов азота является максимальной.

Литература

1. Ежегодный обзор «Состояние загрязнения атмосферы в городах на территории России за 2006 г.» / Под ред. Э.Ю. Безуглая. Главная геофизическая обсерватория им. А.И. Воейкова. – СПб.: ГГО Росгидромета, 2008.

2. Gery, M.W. A Photochemical Kinetics Mechanism for Urban and Regional Scale Computer Modeling / M.W. Gery, G.Z. Whitten, J.P. Killus, M.C. Dodge // *J. Geophys. Res.*, 1989, 94, с. 925-956.
3. Экогеохимия городских ландшафтов / Под ред. Н.С. Касимова. – М.: Изд-во МГУ, 1998. – 336 с.
4. Курбатова А.С. Экология города. – М.: Научный мир, 2004. – 624 с.
5. Ежегодник выбросов загрязняющих веществ в атмосферу городов и регионов Российской Федерации (России) 2004 г. / Под ред. В. Б. Миляева и А.Н. Ясенского. – СПб.: ФГУП «Научно-исслед. ин-т охраны атмосф. воздуха», 2005. – 274 с.
6. European Commission and ENTEC UK Limited, 2006. Service Contract on Ship Emissions: Assignment, Abatement and Market based Instruments Task 2b and C-NOX and SO₂ Abatement.
7. Fuglestvedt, J. S., Shine, K. P., Berntsen, T., Cook, J., Lee, D. S., Stenke, A., Skeie, R. B., Velders, G.J. M. and Waitz, I. A. Transport impacts on atmosphere and climate: metrics // *Atmospheric Environment*, 2010, vol. 44 (37), p. 4648-4677.
8. Agrawal, H., Malloy, Q.G.J., Welch, W.A., Miller, J.W., Cocker, D.R. In-use gaseous and particulate matter emissions from a modern ocean going container vessel // *Atmospheric Environment*, 2008, vol. 42, № 5, p. 504-510.
9. Eyring, V., Isaksen, I. S. A., Berntsen, T., Collins, W. J., Corbett, J. J., Endresen, Ø., Grainger, R.G., Moldanova, J., Schlager, H., and Stevenson, D. S. Transport Impacts on Atmosphere and Climate: Shipping // *Atmos. Environ.*, 2009, vol. 44, p. 4735-4771. doi:10.1016/j.atmosenv.2009.04.059.
10. Eyring, V., Stevenson, D.S., Lauer, A., Dentener, F.J., Butler, T., Collins, W.J., Ellingsen, K., Gauss, M., Hauglustaine, D.A., Isaksen, I.S.A., Lawrence, M.G., Richter, A., Rodriguez, J.M., Sanderson, M., Strahan, S.E., Sudo, K., Szopa, S., van Noije, T.P.C., Wild, O. Multi-model simulations of the impact of international shipping on atmospheric chemistry and climate in 2000 and 2030 // *Atmospheric Chemistry and Physics*, 2007, vol. 7, p. 757-780.
11. Balzany Lööf, J.M., Alfoldy, B., Lagler, F. et al. Why and how to measure remotely ship emissions // *Climate Change and Air Quality Unit Seminars.*, 2011, Ispra 2011, Ispra, Italy.
12. Corbett, J. Koehler, H.W. Update d Emissions from Ocean Shipping // *Journal of Geophysical Research*, 2003, vol. 108, № D20.
13. Eyring, V., Köhler, H., Van Aardenne, J., & Lauer, A. Emissions from international shipping: 1. The last 50 years // *J. of Geophys. Res.-Atmosph.*, 2005, vol. 110, № D17305.
14. Endresen, Ø., Sørsgård, E., Behrens, H.L., Brett, P.O., Isaksen, I.S.A. A historical reconstruction of ships'fuel consumption and emissions // *J. of Geoph. Res.-Atmosph.*, 2007, vol. 112, № D12301.
15. Смышляев С.П., Ермакова Т.С., Мостаманди С.В., Курганский А.Р. Моделирование трансформации химически активных примесей атмосферы в региональном масштабе // *Уч. зап. РГГМУ*, 2013, № 29, с. 75-84.
16. Филиппенко А.П., Смышляев С.П., Блакитная П.А. Химические механизмы трансформации токсичных газов в атмосфере // *Уч. зап. РГГМУ*, 2010, № 15, с. 41-53.
17. Janssens-Maenhout G, Dentener F, Van Aardenne J, Monni S, Pagliari V, Orlandini L, Klimont Z, Kurokawa J, Akimoto H, Ohara, T, Wankmueller R, Battye B, Grano D; Zuber A, Keating T. EDGAR-HTAP: a Harmonized Gridded Air Pollution Emission Dataset Based on National Inventories. Ispra (Italy): European Commission Publications Office; 2012. JRC68434, EUR report No EUR 25 299 - 2012, ISBN 978-92-79-23122-0, ISSN 1831-9424.
18. Смышляев С.П., Кароль И.Л., Зубов В.А., Юдин В.А., Геллер М.А. Двумерное моделирование сезонно-широтной изменчивости общего содержания атмосферного озона с использованием параметров крупномасштабного переноса из модели общей циркуляции атмосферы // *Изв. РАН. Физика атмосферы и океана*, 2002, т. 38, № 1, с. 81-94.
19. Dvortsov V.L., Zvenigorodsky S.G., Smyshlyaev S.P. On the use of Isaksen-Luther method of computing photodissociation rates in photochemical models // *J. Geophys. Res.*, 1992, vol. 97, no. D7, p. 7593-7601.

Работа выполнена в Российском государственном гидрометеорологическом университете в рамках выполнения госконтракта № 14.515.11.0103, а также в рамках гранта Правительства РФ (Договор №11.G34.31.0078) для поддержки исследований под руководством ведущих ученых.