УДК 504.064
doi:10.23968/2305–3488.2017.21.3.133–145

Ложкин В. Н., Ложкина О. В., Добромиров В. Н.

ПРОГНОЗ ЭКСТРЕМАЛЬНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОЗДУХА ВОДНЫМ И АВТОМОБИЛЬНЫМ ТРАНСПОРТОМ: НА ПРИМЕРЕ ВАНТОВЫХ ПЕРЕХОДОВ САНКТ-ПЕТЕРБУРГА И ВЛАДИВОСТОКА

UDC 504.064
doi:10.23968/2305–3488.2017.21.3.133–145

Lozhkin V. N., Lozhkina O. V., Dobromirov V. N.

FORECAST OF EXTREME AIR POLLUTION BY WATER AND ROAD TRANSPORT IN THE ZONE OF THE CABLE-STAYED BRIDGES OF ST. PETERSBURG AND VLADIVOSTOK

Аннотация

В статье описывается исследование опасного загрязнения воздушной среды отработавшими газами двигателей автомобилей и судов в акваториях мостовых переходов. Анализируется превышение допустимых значений концентраций поллютантов в часы максимальной транспортной нагрузки при неблагоприятных метеорологических условиях. Используются аппроксимации дифференциального уравнения атмосферной диффузии, данные о климате, интенсивности судового и (или) автомобильного движения, эмиссии поллютантов судами и автомобилями, параметры автострады, фарватера судов, сертифицированные программные продукты и ГИС. Даются оценки по CO, NO2, SO2, формальдегиду, бензо(α) пирену, саже, углеводородам. Адекватность модели подтверждается инструментальными замерами стационарными и передвижными станциями. Получены новые данные экстремального загрязнения воздуха автотранспортом в акватории перехода «Золотой мост» Владивостока и «вклада» судов в загрязнение воздуха на Большом Обуховском мосту в Санкт-Петербурге. Приводятся карты загрязнения воздуха приоритетными поллютанта-

Abstract

Present paper describes the investigation of dangerous air pollution by the exhaust gases of vehicles and vessels in the areas of bridges. The excess of standard limit values of pollutants concentrations at rush hours at adverse meteorological conditions is also analyzed. Approximations of the differential equation of atmospheric diffusion, data on the climate, intensity of vessels and (or) vehicles traffic, emissions of pollutants by vessels and vehicles, parameters of the motorway, the fairway of vessels are examined. The numerical investigations are realized using certified software and GIS applications. Estimates for CO, NO2, SO2, formaldehyde, benzo(α)pyrene, soot, hydrocarbons are given. The adequacy of the model is confirmed by instrumental measurements of stationary and mobile monitoring stations. New data of extreme air pollution by vehicles in the water area the «Golden Bridge» in Vladivostok and the impact of water vessels in the air pollution on the Big Obukhov Bridge in St. Petersburg have been obtained. The maps of air pollution with priority pollutants, analysis of results, conclusions are also presented. Obviously, there is a need to ми, анализ результатов, выводы. Очевидно, назрела необходимость оснащения водного транспорта Санкт-Петербурга двигателями экологического уровня Tier – 3, 4. Методика рекомендуется к использованию в информационных процессах экологической экспертизы проектов альтернативного обустройства мостовых автомобильных переходов через судоходные водные объекты.

Ключевые слова: автотранспортные средства, речные суда, выбросы загрязняющих веществ, численные исследования.

equip the water transport of St. Petersburg with engines corresponding to emission standards Tier – 3, 4. The methodology may be recommended for the environmental calculation assessment of existing and planned motorway bridges.

Keywords: motor transport, river vessels, pollutants emissions, numerical investigations.

Авторы

Ложкин Владимир Николаевич
доктор технических наук, профессор; профессор кафедры пожарной, аварийно-спасательной техники и автомобильного хозяйства;
Санкт-Петербургский университет государственной противопожарной службы Министерства чрезвычайных ситуаций России
Тел.: +7 (921) 777-73-04;
E-mail: vnlojkin@yandex.ru

Ложкина Ольга Владимировна
кандидат технических наук, доцент; доцент кафедры физико-химических основ процессов горения и тушения, Санкт-Петербургский университет государственной противопожарной службы Министерства чрезвычайных ситуаций России;
Tel.: +7 (921) 759-29-71;
E-mail: olojkina@yandex.ru

Добромиров Виктор Николаевич
доктор технических наук, профессор; профессор кафедры наземных транспортно-технологических машин; Санкт-Петербургский архитектурно-строительный университет, Министерства образования и науки Российской Федерации;
Тел.: +7 (981) 712-19-79
E-mail: viktor.dobromirov@mail.ru

Authors

Lozhkin Vladimir Nikolaevich
Doctor of Technical Sciences, Professor at the Department of Rescue Equipment and Fire Vehicles,
St. Petersburg University of State Fire Service of Emercom of Russia;
Tel.: +7 (921) 777-73-04;
E-mail: vnlojkin@yandex.ru

Lozhkina Olga Vladimirovna
Ph. D. of Chemical Sciences, Associate Professor at the Department of Physics and Chemistry of Combustion Processes and Fire Control,
St. Petersburg University of State Fire Service of Emercom of Russia;
Tel.: +7 (921) 759-29-71
E-mail: olojkina@yandex.ru

Dobromirov Victor Nikolayevich
Doctor of Technical Sciences, Professor at the Department of Land Transport Technology Machines; St. Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering;
Tel.: +7 (981) 712-19-79
E-mail: viktor.dobromirov@mail.ru

Введение

В современном мире источниками повышенной опасности являются не только природные катаклизмы, аварии и катастрофы. Оказалось, что созданные в городах автомобильные и водные транспортные коммуникации, благоприятно повысившие эффективность, мобильность и комфорт передвижения, несут гораздо большую угрозу здоровью и жизни населения [1; 2].

Чрезмерно возросшая численность транспортных средств в городах часто не соответствует пропускной способности улично-дорожной сети, что приводит к стесненному движению, экстренным торможениям и интенсивным разгонам, наконец, к «пробкам» на дорогах [6]. В холодные периоды года применяются ядовитые антиобледенительные реагенты, шины с шипами, истирающие дорожное полотно в канцерогенную пыль [15]. Одновременно с этим происходит загрязнение воздуха судами в местах расположения пассажирских и грузовых портов, причалов, пристаней, разгрузочных площадок, маневрирования и проводки по фарватерам на реках, заливах и бухтах в городской черте [16].

В смысле отмеченных рисков для горожан наиболее опасными зонами являются места пересечения мостовых переходов крупных автомагистралей с судовыми фарватерами [5; 11], в которых, при неблагоприятных метеорологических условиях, стоит ожидать экстремальное локальное загрязнение воздушной среды отработавшими газами (ОГ) транспортных двигателей сверх допустимого уровня ($ПДК_{МР}$) [12].

В климатологии к нормально неблагоприятным метеоусловиям (ННМУ) относят такие [3], при которых затрудняется рассевание поллютантов в атмосфере при слабом ветре (штиль) и температурных инверсиях. Наблюдения Главной геофизической обсерватории им. А. И. Воейкова подтверждают тенденцию роста таких ННМУ в городах России. Ученые географы, метеорологи и климатологи связывают учащение аномальных состояний атмосферы с изменениями климата на нашей планете как результата активной антропогенной деятельности человека [18].

В городах западных стран отмеченные проблемы решаются выпуском в обращение транспортных средств с выбросом поллютантов на уровне Euro-6 (автомобильные двигатели), Tier 4 (судовые) [7; 19]. В городах России, аналогично, идут процессы обновления, эксплуатируемого парка транспортных средств [14], что и послужило причиной проведения настоящего расчетного исследования.

В статье, на примерах окрестностей вантовых автомобильных переходов «Золотой мост» (г. Владивосток) и «Большой Обуховский мост» (г. Санкт-Петербург), анализируются результаты экспериментально-расчетного прогнозирования вероятного загрязнения пограничной атмосферно-водной акватории на уровне дыхания человека поллютантами (CO, NO_2, SO_2, формальдегид, бензо(α)пирен, сажа, углеводороды) при ННМУ.

Обоснование объекта, предмета, задач и методов исследования

Объектом исследования являлось состояние качества воздушной среды в Санкт-Петербурге и Владивостоке, предметом, – ожидаемое (вероятное) загрязнение воздуха на уровне дыхания человека в зонах повышенного риска, где пересекаются самые оживленные автострады и фарватеры проводки судов при экстремальных транспортно-метеорологических условиях (часы «пик» для автотранспортной нагрузки, ННМУ).

Выбор исследуемых городов и видов транспорта не являлся случайным. Санкт-Петербург – водная столица России, расположен не берегу Финского залива. В черте города находятся 45 рек, рукавов, протоков и 40 искусственных каналов общей протяженностью около 300 км; протяженность р. Невы в черте города – 28 км. В период навигации, который начинается в начале апреля, а заканчивается в конце ноября, большинство водных артерий судоходно. Владивосток – крупнейший восточный порт России, с практически всесезонной навигацией.

Основное отличие морских (речных) пассажирских и коммерческих судов от автотранспортных средств заключается в том, что размещенные на них энергетические установки предназначены не только для приведения судов в движение, но и для утилизации отходов, выработки тепловой и электрической энергии, удовлетворения общесудовых нужд экипажа и пассажиров, автономного выполнения различных производственных функций.

Конкретными задачами исследования являлись экспериментально-расчетные оценки ожидаемых экстремальных локальных превышений $ПДК_{МР}$ поллютантами ОГ автотранспорта в окрестностях автомобильных вантовых переходов «Золотой Мост» (бухта Золотой Рог, г. Владивосток) и «Большой Обуховский Мост» (г. Санкт-Петербург). В связи с тем, что кольцевая дорога (КАД) над р. Невой расположена в непосредственной близости с грузовым речным терминалом, местом швартовки пассажирских речных лайнеров, и под ней проходит фарватер грузовых судовых потоков «река – море», дополнительно оценивался «вклад» судов в локальное загрязнение воздуха.

Переходя к обоснованию метода экспериментально-расчетного исследования, авторы считают необходимым еще раз подчеркнуть, что полученные результаты относятся исключительно к имеющим место (для климата этих регионов) локально-временным периодам неблагоприятных метеорологических условий. При нормальной стратификации атмосферы и активной естественной «продуваемости» акваторий исследуемых городов, службами Росгидромета превышений $ПДК_{МР}$ не регистрируется.

В основу математической модели положено численное решение системы уравнений атмосферной диффузии, каждое из которых записывается для концентрации одной из анализируемых опасных примесей [18]. Приведенное ниже уравнение (1) записано для концентрации одного из поллютантов:

$$\frac{\partial q}{\partial t} + \sum_{i=1}^{3}(u_i + W_g\, k_{j\cdot i})\frac{\partial q}{\partial x_i} = \sum_{i=1}^{3}\frac{\partial}{\partial x_i}K_i\frac{\partial q}{\partial x_i} - \alpha q + S \qquad (1)$$

где q – концентрация; u_i и K_i – компоненты средней скорости ветра и коэффициента турбулентной диффузии вдоль декартовых координатных осей x_i; w_g – скорость гравитационного оседания примеси (отлична от нуля в случае переноса частиц); $k_{j\,i}$ – символ Кронекера, равный 1 при совпадении индексов и нулю при их несовпадении; α – коэффициент, учитывающий метаболизм веществ; S – член, учитывающий влияние источников и стоков примесей, их химическую (в том числе, фотохимическую) трансформацию и другое.

Данный подход математического моделирования турбулентной диффузии, который сегодня называют К-теорией [12], применяется совместно с упрощениями стилизации транспортных потоков судов и автомобилей совокупностями точечных (отдельное судно или автомобиль), площадных (порт, морской или речной вокзал, причал и т. п.), линейных (судовой поток, автомагистраль) источников выбросов отработавших газов двигателей [17].

Реализация численных исследований загрязнения воздуха осуществлялась с применением Методики для определения выбросов автотранспорта для проведения сводных расчетов загрязнения атмосферы городов, разработанной с нашим участием и актуализированной нами в 2016 году [13]. Расчеты были произведены с помощью программного обеспечения «Магистраль» и «Эколог» НПФ «Интеграл» с построениями карт загрязнения на основе ГИС [10].

В качестве исходных данных для расчета эмиссии поллютантов с ОГ автотранспорта на исследуемых участках вантовых переходов использовались результаты натурных обследований структуры и интенсивности автотранспортных потоков с подразделением по следующим категориям автотранспортных средств: легковые – (Л); автофургоны и микроавтобусы до 3,5 тонн – (АМ); грузовые от 3,5 до 12 т – (Г≤12); грузовые свыше 12 т – (Г>12); автобусы свыше 3,5 т – (А>3,5).

Результаты исследования и обсуждение

Результаты выполненных натурных обследований интенсивности движения автотранспорта приведены ниже (табл. 1).

Таблица 1. Результаты обследования интенсивности автотранспортного потока.

Дата проведения наблюдений	Время наблюдений (20 минут)	Число автомобилей по категориям					Средняя скорость движения потока, км/ч		
		Л	АМ	$Г_{\geq 12}$	$Г_{>12}$	$А_{>3,5}$	Легкјвые	Грузовые	Автобусы
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Большой Обуховский Мост (г. Санкт-Петербург)									
17.03.2016	17:45–18:05	3122	178	59	151	3	80	70	60
18.03.2016	17:45–18:05	3213	185	62	165	4	80	70	60
19.03.2016	17:45–18:05	3102	195	65	161	3	60	70	60
21.03.2016	17:45–18:05	3305	222	63	175	5	80	70	60
22.03.2016	17:45–18:05	3040	206	55	145	4	80	70	60
Золотой Мост (Бухта Золотой Рог, г. Владивосток)									
20.03.2017	8:00 – 8:20	1828	28	9	8	13	60	50	50
21.03.2017	8:00 – 8:20	1762	26	13	4	7	60	50	50
22.03.2017	8:00 – 8:20	1818	18	15	7	12	60	50	50
23.03.2017	8:00 – 8:20	1834	21	6	7	13	60	50	50
24.03.2017	8:00 – 8:20	1743	37	21	7	17	60	50	50

Из анализа результатов таблицы 1 следует, что интенсивность движения автотранспорта в часы пик по КАД в Санкт-Петербурге через вантовый переход «Большой Обуховский Мост» (восемь полос движения) значительно выше, чем по автомагистрали Владивосток – остров Русский через переход «Золотой Мост» (шесть полос движения).

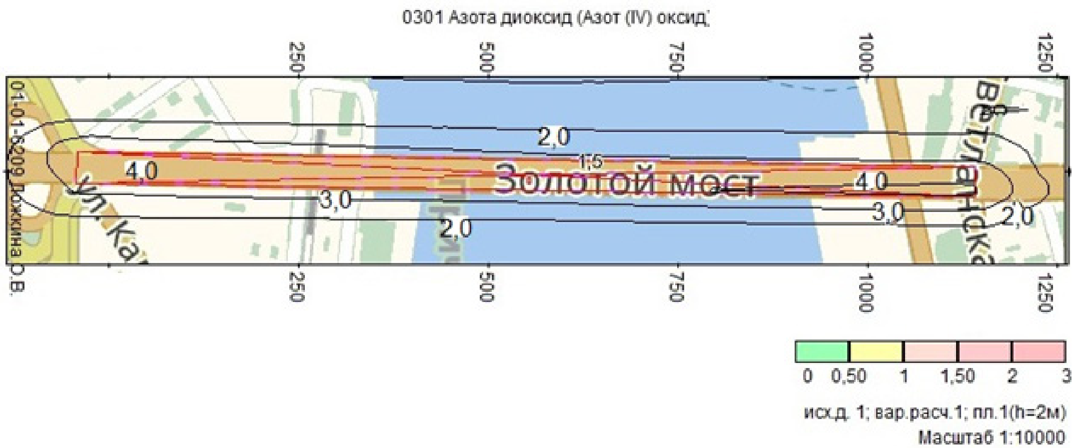

Рис. 1. Ожидаемое для ННМУ загрязнение воздуха NO_2 (в долях ПДК$_{МР}$) от автомобилей в районе перехода «Золотой Мост» (г. Владивосток) в часы пик

Экспериментально-расчетные оценки ожидаемого превышения поллютантами ПДК$_{МР}$ в окрестности вантового перехода «Золотой Мост» в г. Владивостоке при ННМУ для часов пик выявили проблемным загрязнителем диоксид азота (NO_2), превышения до 3–4 раз (рис. 1). Ожидаемые значения концентраций CO, SO_2, формальдегида, бензо(α) пирена, сажи, углеводородов оказались значительно меньше ПДК$_{МР}$.

Экспериментально-расчетные оценки ожидаемого превышения поллютантами ПДК$_{МР}$ в окрестности вантового перехода «Большой Обуховский Мост» в Санкт-Петербурге при ННМУ для часов пик, аналогично оценкам для г. Владивостока, выявили проблемным загрязнителем диоксид азота (NO_2), со сравнительно несколько большими превышениями – до 4 раз (рис. 2). Ожидаемые значения концентрации сажи до 1,5 ПДК$_{МР}$; CO, SO_2, формальдегида, бензо(α) пирена, углеводородов оказались значительно меньше ПДК$_{МР}$.

Локальное воздействие судов на качество атмосферного воздуха в акватории перехода «Большой Обуховский Мост» в Санкт-Петербурге, в отличие от воздействия автотранспорта, характеризуется периодичностью поступления поллютантов в атмосферу (рис. 3), связанной с технологическими циклами проводки судов по фарватеру, их обработки в грузовом терминале и пассажирском порту. К специфичным особенностям следует также отнести отсутствие подфакельной чистой зоны, присущей организованным выбросам в атмосферу [8].

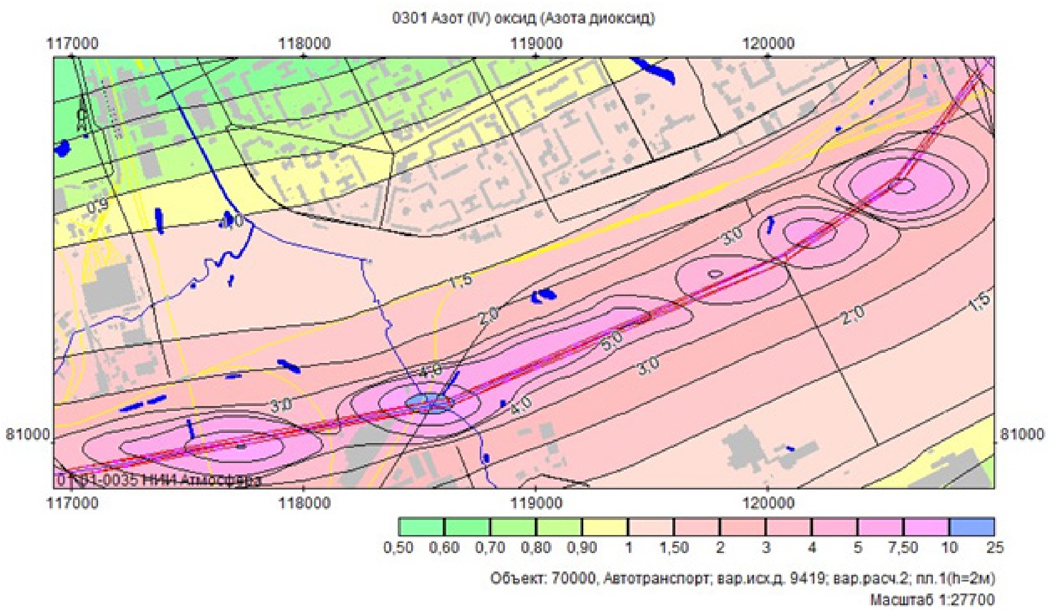

Рис. 2. Ожидаемое для ННМУ загрязнение воздуха NO_2 (в долях $ПДК_{МР}$) от автомобилей в районе перехода «Большой Обуховский Мост» (г. Санкт-Петербург) в часы пик»

Рис. 3. Загрязнение воздуха речными судами и автотранспортом в районе «Большого Обуховского Моста» (г. Санкт-Петербург), август 2016 г.

В качестве исходных гипотетических условий для численного исследования вклада судов в загрязнение воздуха рассматривалось два сценария, учитывающих реальное движение судов и максимальную интенсивность движения автотранспорта в районе перехода «Большой Обуховский Мост». По первому сценарию на причале пассажирского порта в Уткиной заводи одновременно на стоянке находились при работе вспомогательных двигателей и котлов три теплохода – 588, 92-016 и 301 проектов. По второму сценарию эти же теплоходы готовились к отправке в рейс с работающими вспомогательными и основными двигателями, а по реке Неве двигался теплоход «Метеор», оснащенный дизельным двигателем типа 342Э.

Удельные выбросы дизельных судовых установок, приведенные в работе [8], были переведены из единиц измерения «г/кВтч» в единицы измерения «г/с» по формуле, предложенной в ГОСТ Р 56163-2014. При реализации первого сценария (рис. 4) энергетические установки судов при ННМУ могут создавать устойчивое воздействие на качество атмосферного воздуха в районе порта в течение стоянки. Загрязнения по NO_2 при этом могут составлять до 7 $ПДК_{МР}$, по канцерогенным частицам сажи до 1,5 $ПДК_{МР}$, по СН – 0,5 $ПДК_{МР}$.

При реализации второго сценария судовые энергетические установки при ННМУ могут создавать также устойчивое воздействие на прилегающую водную акваторию в течение отправки в рейс судов с рейда. При этом, как показали результаты расчета, следует ожидать значительно более опасного для горожан загрязнения воздушной среды токсичными веществами. Суммарные загрязнения по NO_2 могут составлять до 14 $ПДК_{МР}$, по канцерогенным частицам сажи – до 1,8 $ПДК_{МР}$, по SO_2 – до 1,2 $ПДК_{МР}$, по СН – 0,7 $ПДК_{МР}$, по СО – 0,5 $ПДК_{МР}$.

Значительный вклад судов в суммарное загрязнение воздуха связан с высоким возрастом эксплуатируемых судов: трехпалубные пассажирские теплоходы 588 проекта выпускались с 1951 по 1961 гг., четырехпалубные теплоходы 301 проекта – с 1974 по 1983 гг., 92-016 проекта – с 1976 по 1983 гг., 302 проекта – с 1984 по 1992 гг., теплоходы типа «Метеор» проекта 342Э – с 1961 по 1991 гг., в связи с чем их дизельные силовые установки характеризуются относительно высокими показателями токсичности.

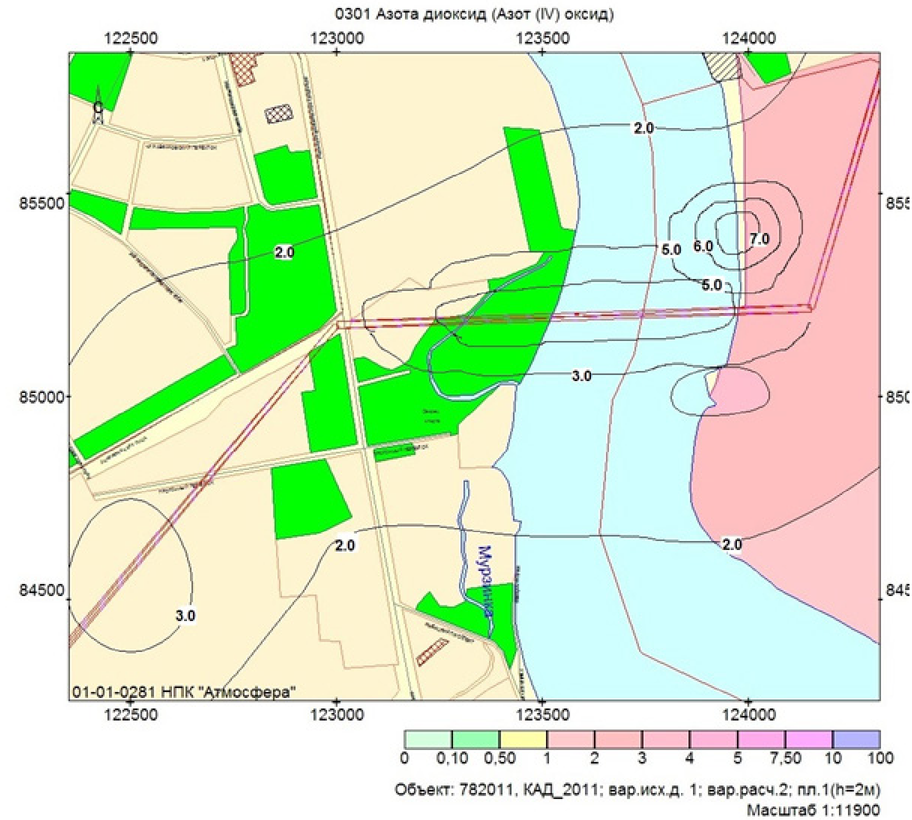

Рис. 4. Ожидаемое для НHМУ загрязнение воздуха NO_2 (в долях $ПДК_{МР}$) от судов и автотранспорта по 1-му гипотетическому сценарию в районе перехода «Большой Обуховский Мост» (г. Санкт-Петербург) в часы пик

Выводы и обсуждение

Результатами проведенного в Санкт-Петербурге и Владивостоке исследования предполагается обратить внимание законодателей, ученых, заинтересованных организаций и общественности на необходимость контроля закономерно повторяемых, по сути чрезвычайных ситуаций вероятного сверхнормативного локального загрязнения пограничной атмосферно-водной акватории на уровне дыхания человека, обусловленного одновременным комплексным воздействием отработавших газов судовых и автомобильных двигателей.

Характерным для Санкт-Петербурга является то обстоятельство, что уровень загрязнения воздуха оксидами азота и частицами сажи от автотранспорта, до 8–12 $ПДК_{МР}$ по NO_2 и 2–4 $ПДК_{МР}$ по саже, непосредственно на автомагистрали сопоставим с уровнем загрязнения воздуха от трех круизных теплоходов при подготовке последних к отправке в рейс, когда происходит запуск и прогрев главных двигателей при одновременной работе вспомогательных двигателей и котлов. Это, по-видимому, объясняется тем, что в структуре современных плавсредств преобладают высоковозрастные суда (производства 1951–1992 гг., а в автотранспортном потоке на КАД Санкт-Петербурга в последние года наблюдается заметное увеличение доли грузового дизельного транспорта возраста более 10 лет.

Благодарности

Авторы выражают признательность инженерам Пенченкову А. Ю. и Косовцу М. А. за помощь в организации обследования интенсивностей автотранспортных потоков на вантовых автомобильных переходах «Большой Обуховский Мост» (г. Санкт-Петербург) и «Золотой Мост» (г. Владивосток).

Литература

1. ACEA (European Automobile Manufacturers Association). (2014). Euro standards. Доступно по ссылке: http://www.acea.be/news/article/eurostandards (дата обращения 02.02.2014).

2. Alföldy, B., Lööv, J. B., Lagler, F. (2013). Measurements of air pollution emission factors for marine transportation in SECA. *Atmos. Meas. Tech.*, 6, сс. 1777–1791. doi:10.5194/amt-6-1777-2013.

3. Berlyand, M. E. (1991). *Prediction and Regulation of Air Pollution*. Springer Netherlands, 320 p.

4. Ellison, R.B., Greaves, S.P., & Hensher, D.A. (2013). Five years of London's low emission zone: Effects on vehicle fleet composition and air quality. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, Vol. 23, pp. 25–33.

5. Ezeah C., Finney K., Nnajide C. (2015). A Critical Review of the Effectiveness of Low Emission Zones (LEZ) As A Strategy for the Management of Air Quality in Major European Cities. *Journal of Multidisciplinary Engineering Science and Technology (JMEST*), Vol. 2, Issue 7, July – 2015.

6. Guerreiro, C., de Leeuw, F., Foltescu, V. (2013). *Air Quality in Europe: 2013 report*. EEA report No. 9/2013. Luxembourg: Publications Office. 110 с.

7. Hitchcock G., Conlan B., Kay D. (2014). *Air Quality and Road Transport Impacts and solutions*. Copyright Royal Automobile Club Foundation for Motoring Ltd. Pall Mall. No. 1002705. London. SW1Y 5HS.

8. Иванченко, А. А. (1998). *Комплексное снижение вредных выбросов дизельными установками речных судов.* Докт. техн. наук. СПбГУВК, Санкт-Петербург, 420 с.

9. Иванченко, А. А., Петров, А. П., Живлюк, Г. Е. (2015). Энергетическая эффективность судов и регламентация выбросов парниковых газов. *Вестник государственного университета морского и речного флота им. адмирала С. О. Макарова,* № 3 (31), с. 103–112.

10. Kotikov, Ju. G. (2017). GIS-Modeling of Multimodal Complex Road Network and Its Traffic Organization. *Transportation Research Procedia*, V. 20, с. 340–346. doi: 10.1016/j.trpro.2017.01.043.

11. Ljevaja, D. (2011). Impact of emissions of Marine diesel engines to Air Pollution on the example of the Yugoslav River Shiping. *International Journal for Traffic and Transport Engineering*, 2011, 1(3), с. 149–157.

12. Ložkin, V., Ložkina, O., Ušakov, A. (2013). Using K-theory in geographic information

investigations of critical-level pollution of atmosphere in the vicinity of motor roads. *World Applied Science Journal* **23 (13)** c. 96–100.

13. Lozhkina, O., Lozhkin, V., Nevmerzhitsky, N., Tarkhov, D., Vasilyev, A. (2016). Motor transport related harmful PM2.5 and PM10: from on-road measurements to the modelling of air pollution by neural network approach on street and urban level. *Journal of Physics: Conference Series*, V. 772, № 1. Available at: http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/772/1/01203114. Lozhkina, O. V., Lozhkin, V. N. (2015) Estimation of road transport related air pollution in Saint Petersburg using European and Russian calculation models. *Transport. Res. Part D,* **36, c.** 178–189.

15. Matti Maricq, M. (2007). Chemical characterization of particulate emissions from diesel engines: a review. *Journal of Aerosol Science*, vol. 38, no. 11, cc. 1079–1118.

16. Mamakos, A., Bonnel, P., Perujo, A., Carriero, M. (2013). Assessment of portable emission measurement systems (PEMS) for heavy-duty diesel engines with respect to particulate matter. *Journal of Aerosol Science*, 57, cc. 54–70.

17. (1987). Общесоюзный нормативный документ «Методика расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий – ОНД-86». Ленинград: Гидрометеоиздат, 93 с.

18. Sofiev, M., Genikhovich, E., Keronen, P., Vesala, T. (2010). Diagnosing the surface layer parameters for dispersion models within the meteorological-to-dispersion modeling interface. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, v. 49, Iss. 2, p. 221–233.

19. Williams, E. J., Lerner, B. M., Murphy, P. C., Herndon, S. C., and Zahniser, M. S. (2009). Emissions of NOx, SO_2, CO, and HCHO from commercial marine shipping during Texas Air Quality Study (TexAQS) 2006. *Journal of Geophysical Research*, 114. , doi:10.1029/2009jd012094.

References

1. ACEA (European Automobile Manufacturers Association). (2014). Euro standards. Доступно по ссылке: http://www.acea.be/news/article/eurostandards (дата обращения 02.02.2014).

2. Alföldy, B., Lööv, J. B., Lagler, F. (2013). Measurements of air pollution emission factors for marine transportation in SECA. *Atmos. Meas. Tech.*, 6, cc. 1777–1791. doi:10.5194/amt-6-1777-2013.

3. Berlyand, M. E. (1991). *Prediction and Regulation of Air Pollution*. Springer Netherlands, 320 p.

4. Ellison, R.B., Greaves, S.P., & Hensher, D.A. (2013). Five years of London's low emission zone: Effects on vehicle fleet composition and air quality. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, Vol. 23, pp. 25–33.

5. Ezeah C., Finney K., Nnajide C. (2015). A Critical Review of the Effectiveness of Low Emission Zones (LEZ) As A Strategy for the Management of Air Quality in Major European Cities. *Journal of Multidisciplinary Engineering Science and Technology (JMEST*), Vol. 2, Issue 7, July – 2015.

6. Guerreiro, C., de Leeuw, F., Foltescu, V. (2013). *Air Quality in Europe: 2013 report*. EEA report No. 9/2013. Luxembourg: Publications Office. 110 c.

7. Hitchcock G., Conlan B., Kay D. (2014). *Air Quality and Road Transport Impacts and solutions*. Copyright Royal Automobile Club Foundation for Motoring Ltd. Pall Mall. No. 1002705. London. SW1Y 5HS.

8. Ivanchenko A.A. (1998). Kompleksnoye snizheniye vrednykh vybrosov dizel'nymi ustanovkami rechnykh sudov [Complex reduction of harmful emissions by diesel installations of river vessels]. Dokt. tekhn. nauk. SPbGUVK. Sankt-Peterburg, 420 s.

9. Ivanchenko A.A., Petrov A.P., Zhivlyuk G.Ye. (2015). Energeticheskaya effektivnost' sudov i reglamentatsiya vybrosov parnikovykh gazov [Energy efficiency of ships and regulation of greenhouse gas emissions]. *Vestnik gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota im. admirala*

S.O. Makarova, № 3 (31), s. 103-112.

10. Kotikov, Ju. G. (2017). GIS-Modeling of Multimodal Complex Road Network and Its Traffic Organization. Transportation Research Procedia, V. 20, c. 340–346. doi: 10.1016/j.trpro.2017.01.043.

11. Ljevaja, D. (2011). Impact of emissions of Marine diesel engines to Air Pollution on the example of the Yugoslav River Shiping. International Journal for Traffic and Transport Engineering, 2011, 1(3), c. 149–157.

12. Ložkin, V., Ložkina, O., Ušakov, A. (2013). Using K-theory in geographic information investigations of critical-level pollution of atmosphere in the vicinity of motor roads. World Applied Science Journal 23 (13) c. 96–100.

13. Lozhkina, O., Lozhkin, V., Nevmerzhitsky, N., Tarkhov, D., Vasilyev, A. (2016). Motor transport related harmful PM2.5 and PM10: from on-road measurements to the modelling of air pollution by neural network approach on street and urban level. Journal of Physics: Conference Series, V. 772, № 1. Available at: http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/772/1/01203114. Lozhkina, O. V., Lozhkin, V. N. (2015) Estimation of road transport related air pollution in Saint Petersburg using European and Russian calculation models. Transport. Res. Part D, 36, c. 178–189.

15. Matti Maricq, M. (2007). Chemical characterization of particulate emissions from diesel engines: a review. Journal of Aerosol Science, vol. 38, no. 11, cc. 1079–1118.

16. Mamakos, A., Bonnel, P., Perujo, A., Carriero, M. (2013). Assessment of portable emission measurement systems (PEMS) for heavy-duty diesel engines with respect to particulate matter. Journal of Aerosol Science, 57, cc. 54–70.

17. Obshchesoyuznyy normativnyy dokument «Metodika rascheta kontsentratsiy v atmosfernom vozdukhe vrednykh veshchestv, soderzhashchikhsya v vybrosakh predpriyatiy – OND-86» [The method for calculating the concentrations in the air of harmful substances contained in the emissions of enterprises], Izd. Gidrometeoizdat, 1987, 93 s.

18. Sofiev M., Genikhovich E., Keronen P., Vesala T. (2010) Diagnosing the surface layer parameters for dispersion models within the meteorological-to-dispersion modeling interface. J. Appl. Meteor. Climatol. v. 49. Iss. 2. p. 221-233. Doi: 10.1175/2009JAMC2210.

19. Williams, E. J., Lerner, B. M., Murphy, P. C., Herndon, S. C., and Zahniser, M. S. (2009) Emissions of NOx, SO_2, CO, and HCHO from commercial marine shipping during Texas Air Quality Study (TexAQS) 2006, J. Geophys. Res.-Atmos., 114. doi:10.1029/2009jd012094.