

**ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ОПАСНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОЗДУХА
КРУИЗНЫМИ СУДАМИ И АВТОТРАНСПОРТНЫМИ СРЕДСТВАМИ
В ЗОНАХ ИХ СОВМЕСТНОГО ВЛИЯНИЯ В СЕВАСТОПОЛЕ,
ВЛАДИВОСТОКЕ И САНКТ-ПЕТЕРБУРГЕ**

Ложкин В. Н., Ложкина О. В., Селиверстов С. А., Крипак М. Н.

**FORECASTING OF DANGEROUS AIR POLLUTION BY CRUISE SHIPS
AND MOTOR VEHICLES IN THE AREAS OF THEIR JOINT INFLUENCE
IN SEVASTOPOL, VLADIVOSTOK AND ST. PETERSBURG**

Lozhkin V. N., Lozhkina O. V., Seliverstov S. A., Kripak M. N.

Аннотация

Введение. Индустрия круизного туризма в последние годы значительно выросла в Европе и в Российской Федерации. Однако влияние круизных судов на качество окружающей среды в портовых городах остается практически неизученным. Целью данной работы явилось численное прогнозирование загрязнения воздуха круизными судами и автомобильным транспортом в зонах их совместного воздействия в трех крупных портовых городах — Санкт-Петербурге, Владивостоке и Севастополе. **Методы.** Расчетное прогнозирование осуществлялось с использованием методов расчета рассеивания выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферном воздухе, утвержденных приказом Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации № 273 от 6 июня 2017 года. **Результаты.** Анализируется влияние круизных судов и автомобильного транспорта на качество воздуха в локальных пространственно-временных масштабах для неблагоприятных метеорологических условий (НМУ), препятствующих естественному рассеиванию загрязняющих веществ. Установлено, что при НМУ в центральных районах Севастополя и Владивостока выбросы одного круизного судна с работающими основными и вспомогательными двигателями могут приводить к локальному кратковременному повышению концентраций NO_2 и SO_2 до 1,5–2,0 и 1,0–1,5 ПДК соответственно. В пределах санитарно-защитной зоны порта «Морской Фасад» Санкт-Петербурга при работе основных двигателей четырех круизных лайнеров возможно краткосрочное превышение ПДК NO_2 до 3 раз. В то же время в районе жилой застройки — менее 1,2 ПДК. **Заключение.** Результаты исследования доказали влияние выбросов круизных судов на загрязнение воздуха в городах, однако влияние автомобильного транспорта остается намного большим.

Ключевые слова: круизные суда, автотранспортные средства, выбросы отработавших газов, загрязнение окружающей среды, прогнозирование и мониторинг.

Abstract

Introduction. The cruise tourism industry has experienced significant growth in recent years over Europe and in the Russian Federation. However, the impact of cruise ships on environmental quality in port cities requires to be evaluated. The goal of the present study was numerical investigation of air pollution by cruise ships and road transport in three large port cities — St. Petersburg, Vladivostok and Sevastopol. **Methods.** The forecasting was carried out using methods for calculating the dispersion of emissions of harmful (polluting) substances in the atmosphere, approved by the order of the Ministry of Natural Resources and Ecology of the Russian Federation №. 273 of June 6, 2017. **Results.** The paper analyses the impact of cruise ships and road transport on the air quality on the local spatiotemporal scale for adverse weather conditions preventing the natural dispersion of pollutants. It was found that in Sevastopol and Vladivostok, emissions from one cruise ship with operating main and auxiliary engines can lead to a local short-term increase in NO_2 and SO_2 concentrations up to 1.5–2.0 and 1.0–1.2 SLV (standard limit value), respectively. As to the port “Sea Facade” of St. Petersburg, four cruise liners with operating main engines can lead to the increase of NO_2 within the sanitary protection zone of the port up to 3.0 SLV. At the same time, the increase in NO_2 level in the near residential area will be less 1.5 SLV. **Conclusions.** The results of our investigation have proved the impact of cruise ships emissions on air pollution in cities, however, the impact of road transport is much higher.

Keywords: cruise ships, road transport, exhaust emissions, environment pollution, forecasting and monitoring.

Введение

Сбалансированное развитие транспортной инфраструктуры городов на основе принципов устойчивого развития является приоритетной задачей в области снижения его негативного техногенного воздействия на среду обитания и население. В современном мире развитие транспортных коммуникаций и рост мобильности населения, с одной стороны, благоприятствуют росту экономики, но, с другой стороны, несут определенную угрозу, в том числе в виде загрязнения окружающей среды и, как следствие, повышения риска здоровью населения, риска причинения ущерба природным экосистемам и инфраструктурным объектам городов [10, 11, 15, 19].

По данным ежегодных государственных докладов в таких крупных городах-портах Российской Федерации, как Санкт-Петербург, Владивосток, Севастополь, транспорт, главным образом автомобильный, играет существенную роль в загрязнении воздушной среды.

Наряду с автомобильным транспортом, на локальном уровне в местах расположения пассажирских и грузовых портовых предприятий, причалов, пристаней, разгрузочных площадок, вдоль фарватеров, проложенных в городских акваториях, имеет место загрязнение воздушной среды отработавшими газами дизельных судовых установок, что оказывает дополнительную экологическую нагрузку на атмосферу городов [6, 7, 9, 13–15].

Развитие индустрии морских круизов в последнее десятилетие переживает настоящий бум в мире [3, 16–18]. Российские морские города, такие как Санкт-Петербург, Владивосток и Севастополь, привлекательны для международного морского туризма, что подтверждается ростом данного вида туристической деятельности в течение последнего десятилетия.

Современные круизные лайнеры огромных размеров представляют по сути мини-города. Например, круизные суда класса Quantum-Ultra компании Royal Caribbean International имеют длину 347,11 м, высоту над ватерлинией 41,2 м, осадку 8,8 м, водоизмещение 169 379 тонн, оснащены двумя 16-цилиндровыми дизельными двигателями мощностью 19 200 кВт, двумя 12-цилиндровыми дизельными двигателями мощностью 14 400 кВт, вмещают на борт 4905

пассажиров и 1500 человек экипажа (суммарно 6405 человек) (рис. 1).

Международная общественность бьет тревогу по поводу загрязнения воздуха в городах-портах опасными выбросами энергетических установок круизных лайнеров во время туристического сезона [3, 6, 7, 14–18]. По данным исследования, проведенного ассоциацией Transport and Environment [1], наибольшему негативному воздействию выбросов круизных судов подвержены следующие города-порты Европы: Барселона (Испания), Пальма-де-Майорка (Испания), Венеция (Италия), Чивитавеккья (Италия), Саутгемптон (Великобритания), Лиссабон (Португалия), Санта-Крус-де-Тенерифе (Испания), Марсель (Франция) и Кобенхавнс-Хавн (Дания). Результаты изучения загрязнения воздуха круизными судами в Барселоне [16, 17] показывают превышение относительно фоновых уровней по всем проанализированным загрязняющим веществам, включая SO_2 , NO_2 , CO, мелкодисперсные взвешенные частицы PM_{10} и $PM_{2.5}$, и это влияние проявляется в радиусе 11 км от круизного лайнера. Результаты исследования, проведенного в одном из оживленных портов Турции — Измире, также подтвердили высокий уровень загрязнения воздуха диоксидом серы, взвешенными частицами и диоксидом азота [18]. Высокие выбросы диоксида серы обусловлены, главным образом, использованием топлив с высоким содержанием серы.

Ввиду экономически обоснованной необходимости развития индустрии морского туризма



Рис. 1. Круизный лайнер Spectrum of the Seas компании Royal Caribbean International в г. Владивостоке 9 сентября 2019 года¹

¹ Источник: <https://www.newsvl.ru/vlad/2019/09/09/183745/#gallery17>

в Российской Федерации актуальной является проблема одновременного формирования комфортной и экологически безопасной среды обитания для жителей в городах. А для этого необходимо осуществлять мониторинг и прогнозирование загрязнения окружающей среды с использованием доступных расчетных, экспериментальных и расчетно-экспериментальных методов.

На примерах Санкт-Петербурга, Владивостока и Севастополя в статье анализируются результаты экспериментально-расчетного прогнозирования вероятного загрязнения воздуха опасными компонентами выбросов двигателей автомобилей и круизных судов — диоксидом азота (NO_2) и диоксидом серы (SO_2) — в зонах их совместного воздействия при неблагоприятных транспортных и метеорологических условиях.

Методы и материалы

В качестве объектов исследования были выбраны три морских города-порта: Севастополь, Владивосток и Санкт-Петербург, пассажирские морские порты которых расположены непосредственно в районах жилой застройки.

Вблизи акватории морских портов проходят оживленные магистрали с интенсивным движением (рис. 2): в Севастополе — проспект Нахимова, во Владивостоке — Светланская улица, Золотой мост и Верхнепортовая улица, в Санкт-Петербурге — Западный скоростной диаметр и улица Кораблестроителей.

Количество судозаходов круизных лайнеров в навигационный сезон и типы круизных лайнеров определялись на основе анализа информации, приведенной на сайтах портовых предпри-

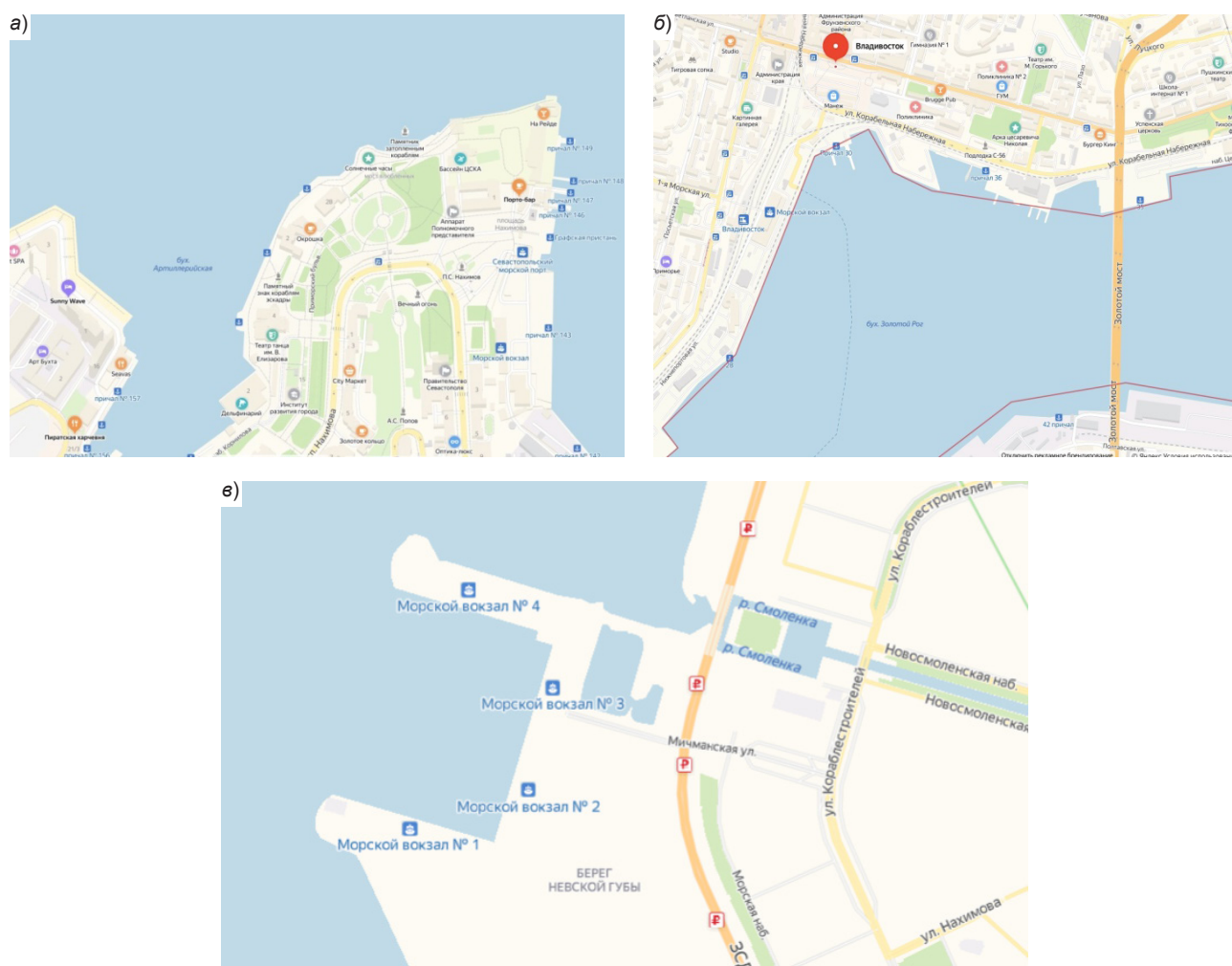


Рис. 2. Акватории морских портов г. Севастополя (а), г. Владивостока (б), Санкт-Петербурга (е)

ятий (пассажирского морского порта «Морской фасад Санкт-Петербурга» <https://www.portspb.ru/raspisanie>, морского вокзала Владивостока <https://morvokzal.com/information-and-tourist-center/>, Севастопольского морского вокзала <https://www.tourister.ru/world/europe/russia/city/sevastopol/riverstations/12408>) и на сайтах круизных туристических агентств, в том числе <https://www.vacationstogo.com/>.

Исследование интенсивности движения и структуры автотранспортных потоков осуществлялось согласно методу, приведенному в ГОСТ Р 56162–2014 «Выбросы загрязняющих веществ в атмосферу. Метод расчета выбросов от автотранспорта при проведении сводных расчетов для городских населенных пунктов», который был разработан ОАО «НИИ Атмосфера» с участием авторов статьи. Для проведения натурных обследований автотранспортных потоков до недавнего времени требовалось привлечение большого числа наблюдателей, проводящих визуальный подсчет АТС непосредственно на автомагистралях. Однако в большинстве городов РФ, в том числе в Санкт-Петербурге, Севастополе и Владивостоке, уже широко распространены геоинформационные интернет-сервисы, предоставляющие в реальном режиме времени сведения о транспортной загруженности улично-дорожной сети с указанием скорости движения потока, точных координат, ширины и длины проезжей части, например, «яндекс-пробки». Кроме этого, многие автомагистрали, в том числе проспект Нахимова в Севастополе, Светланская улица, Золотой мост и Верхнепортовая улица во Владивостоке, Западный скоростной диаметр и улица Кораблестроителей в Санкт-Петербурге, оснащены веб-камерами, передающими *on-line* видеоизображения в сети Интернет, что позволяет вести подсчет автотранспортных средств в офисе в реальном режиме времени, не выезжая на место наблюдения.

Расчет выбросов от автотранспортных потоков (АТП) на исследуемых автодорогах Владивостока и Севастополя проводили по ГОСТ Р 56162–2014, а в Санкт-Петербурге — согласно Методике определения выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферный воздух от автотранспортных потоков, движущихся по автомагистралям Санкт-Петербурга, утвержденной

распоряжением Комитета по природопользованию, охране окружающей среды и обеспечению экологической безопасности администрации Санкт-Петербурга № 33-р от 29 января 2019 года. Расчеты осуществляли с помощью программного продукта «Магистраль» (ООО «Интеграл», Санкт-Петербург), в который вносили изменения, соответствующие задачам и условиям исследования.

Для расчета концентрационных полей рассеивания загрязняющих веществ, выделяющихся от автотранспортных потоков и круизных судов, была использована известная к-модель и официальный методический документ «Методы расчета рассеивания выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферном воздухе», утвержденный приказом Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации № 273 от 6 июня 2017 года, разработанные в Главной геофизической обсерватории лаборатории им. А. И. Воейкова [1, 4, 5] и адаптированные нами для расчета выбросов от АТП (линейный неорганизованный источник) и судов (точечные неорганизованные источники) [13]. Для проведения расчетов и визуализации их результатов использовалась актуализированная с учетом официальных действующих методических рекомендаций версия программного продукта «Эколог» (ООО «Интеграл», Санкт-Петербург).

Результаты исследования и обсуждение

Анализ развития круизного туризма показал, что в 2010–2013 г. полуостров Крым посетили такие гигантские лайнеры, как *Celebrity Constellation* (водоизмещение 90 280 т, введен в эксплуатацию в 2002 г.), *MSC Musica* (водоизмещение 92 409 т, введен в эксплуатацию в 2006 г.), *Costa Deliziosa* (водоизмещение 92 720 т, введен в эксплуатацию в 2009 г.), *Queen Elizabeth* (водоизмещение 90 901 т, введен в эксплуатацию в 2010 г.), *Azura* (водоизмещение 115 055 т, введен в эксплуатацию в 2010 г.), Лайнер *Arcadia* (водоизмещение 83 781 т, введен в эксплуатацию в 2005 г.), *Costa Mediterranea* (водоизмещение 85 619 т, введен в эксплуатацию в 2003 г.), *Norwegian Jade* (водоизмещение 93 558 т, введен в эксплуатацию в 2006 г.), *Costa Atlantica* (водоизмещение 85 619 т, введен в эксплуатацию в 2000 г.), *Queen Victoria* (водоизмещение 90 049 т, введен в эксплуатацию в 2007 г.). Число судо-

заходов круизных судов в г. Севастополь увеличилось с 38 в 2011 г. до рекордных 52 в 2013 г. (табл. 1). В 2014 году из-за санкций все международные круизные операторы исключили порты Крыма из своих черноморских маршрутов. Однако, анализируя тенденции развития этого направления в 2010–2013 гг., логично предположить увеличение спроса на круизные путешествия в Черноморском бассейне после нормализации международных отношений и стабилизации ситуации в регионе и сопредельных государствах.

Анализ показал (см. табл. 1) увеличение числа судозаходов иностранных круизных лайнеров в морской порт г. Владивостока в 2018–2019 гг. В 2019 г. город посетили следующие круизные лайнеры: Spectrum of the Seas (водоизмещение 169 379 т, введен в эксплуатацию в 2019 г.), Quantum of the Seas (водоизмещение 168 666 т, введен в эксплуатацию в 2014 г.), Costa Serena (114 147 т, введен в эксплуатацию в 2007 г.), Costa NeoRomantica (56 769 т, введен в эксплуатацию в 1993 г.), Westerdam (81 811 т, введен в эксплуатацию в 2004 г.), Maasdam (55 575 т, введен в эксплуатацию в 1992 г.), Diamond Princess (115 875 т, введен в эксплуатацию в 2004 г.), Ocean Dream (36 674 т, введен в эксплуатацию в 1982 г.). 22 апреля 2019 г. во Владивостоке пришвартовались два судна — Westerdam и Costa NeoRomantica. Следует отметить, что новейшие гигантские круизные суда Spectrum of the Seas и Quantum of the Seas — самые большие круизные суда, когда-либо заходившие в российские порты. Сейчас г. Владивосток является единственным портом в стране, позволяющим принимать корабли такого класса. Самый крупный пассажирский порт РФ — «Морской фасад Санкт-Петербурга» — не имеет таких возможностей из-за особенностей искусственного фарватера в Финском заливе.

В то же время Петербургский морской пассажирский порт, несомненно, лидер по круизному туризму в стране (см. табл. 1). «Морской фасад Санкт-Петербурга» — единственный на северо-

западе грузопассажирский порт, отвечающий всем международным требованиям и стандартам. Он занимает намывные территории западной части Васильевского острова. В комплекс порта входят три круизных и один круизно-паромный терминал. Порт рассчитан на 726 судозаходов в навигационный сезон, который длится в северной столице с апреля по октябрь. Число судозаходов в 2017–2019 гг. составило 249–270. Санкт-Петербург включен в регулярные маршруты всех мировых операторов (Carnival Corporation, Royal Caribbean International, MSC Cruises S.A., Norwegian Cruise Line). Город посетили более 50 различных круизных судов водоизмещением от 38 000 т до 160 000 т 1998–2013 гг. постройки.

Самым проблемным вопросом в ходе исследования стало определение факторов эмиссии (мощности выбросов) загрязняющих веществ для круизных лайнеров, которые необходимы для проведения расчетов загрязнения атмосферы. Анализ международных публикаций и отчетов [6, 7, 13, 17] позволил установить значения этих параметров для некоторых круизных судов, посещающих города-порты Российской Федерации (табл. 2).

Усредненные показатели интенсивности движения и структуры АТП на автодорогах вблизи морских пассажирских портов г. Севастополя, г. Владивостока и Санкт-Петербурга, установленные для утренних и вечерних часов пик в мае–сентябре 2019 г., приведены в табл. 3.

Из анализа результатов табл. 3 следует, что на всех обследованных магистралях Владивостока в часы пик наблюдается высокая интенсивность движения: на Светланской ул. и Верхнепортовой ул. — 3236 и 2744 автомобилей в час (авт./ч) соответственно, а на Золотом мосту — 6444. При этом высока интенсивность движения тяжелого грузового автотранспорта массой более 12 т — 124 авт./ч на Светланской ул. и 192 авт./ч на Золотом мосту. Согласно официальным статистическим данным Росстата, Владивосток признан

Таблица 1

Количество судозаходов круизных лайнеров в морские порты Севастополя, Владивостока и Санкт-Петербурга

Город	Севастополь			Владивосток			Санкт-Петербург		
	2011	2012	2013	2017	2018	2019	2017	2018	2019
Число судозаходов	38	39	52	14	14	16	249	270	265

Таблица 2

Факторы эмиссии оксидов азота и диоксида серы некоторых круизных лайнеров, заходящих в города-порты Российской Федерации

Название лайнера	NO _x		SO ₂	
	кг/ч	г/с	кг/ч	г/с
Serenade of the Seas	36,05	10,01	2,25	0,625
Celebrity Constellation	48,15	13,38	33,75	9,375
Sapphire Princess	122,85	34,13	94,53	26,25
Diamond Princess	144,67	40,17	203,85	56,63
Costa Magica	83,25	23,13	110,25	30,625
Rotterdam	68,40	19,00	45,11	12,5
Zuiderdam	99,01	27,50	81,17	22,5
Queen Elizabeth	94,52	26,25	87,75	24,375
Disney Magic	141,75	39,375	200,25	55,625

Таблица 3

Усредненные показатели интенсивности движения и структуры автотранспортных потоков в часы пик по результатам обследования за май-сентябрь 2019 г.*

Автодорога	Интенсивность движения АТС, авт./ч					Средняя скорость движения, км/ч				
	Л	АМ	Г _{≤12}	Г _{>12}	А _{>3,5}	Л	АМ	Г _{≤12}	Г _{>12}	А _{>3,5}
Севастополь										
Пр. Нахимова	1296	135	–	–	102	45	45	–	–	35
Владивосток										
Светланская ул.	2376	540	84	124	112	45	45	30	30	30
Золотой мост	5448	552	168	192	84	60	60	50	45	50
Верхнепортовая ул.	2250	342	60	7	83	40	40	30	30	30
Санкт-Петербург										
ЗСД	3559	268	142	134	127	100	100	80	80	80
Ул. Кораблестроителей	3425	454	44	12	104	60	60	40	40	35

* Обозначения даны в соответствии с нормативным документом «Методика определения выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух от передвижных источников для проведения сводных расчетов загрязнения атмосферного воздуха», утвержденным приказом Минприроды России № 804 от 27.11.2019 г.: Л — легковые автомобили, АМ — автофургоны и микроавтобусы до 3,5 тонн, Г_{≤12} — грузовые автомобили от 3,5 до 12 тонн, Г_{>12} — грузовые автомобили свыше 12 тонн, А_{>3,5} — автобусы свыше 3,5 тонн.

самым автомобилезированным городом РФ — 517 автомобилей на 1000 жителей при общей численности населения 606 589 человек. Основу автопарка столицы Приморья составляют подержанные автомобили азиатских (японских, корейских и китайских) производителей.

На ул. Нахимова в Севастополе наблюдается средняя интенсивность движения — суммарно 1533 единиц транспортных средств, проезд грузовым автомобилям по этой автодороге запрещен. По официальным статистическим сведениям автомобилизация городского населения составляет 340 автомобилей на 1000 жителей при общей численности населения 443 211 человек.

На Западном скоростном диаметре (ЗСД) Санкт-Петербурга и ул. Кораблестроителей

в часы утренних и вечерних максимумов интенсивность движения достигает соответственно 4230 и 4039 авт./ч. Всего, по данным официальной статистики за 2018–2019 гг., в Санкт-Петербурге на 5 384 000 приходится 1 972 333 автотранспортных средств.

Как отмечалось выше, для прогнозирования загрязнения атмосферы круизными лайнерами и автотранспортом в зонах их совместного влияния была использована к-модель, основанная на решении уравнения турбулентной диффузии и ряда гидродинамических уравнений [1, 4, 5, 8, 9, 12].

Применение именно этого подхода было предпочтительно, поскольку именно он позволил решить основную задачу исследования — выявление уровня возможного загрязнения атмосферы

ного воздуха при неблагоприятных для рассеивания поллютантов условиях (штиль, температурная инверсия, плотная застройка).

Результаты расчетного прогностического исследования, проведенные по гипотетическим сценариям аномально неблагоприятных для рассеивания примесей условий, подтвердили выводы зарубежных исследователей относительно локального воздействия выбросов судовых энергетических установок на качество воздуха. Проведя расчеты, мы исходили из предположения, что на судах работают как основные, так и вспомогательные двигатели, т. е. суда готовятся к отправке в рейс.

В соответствии с официальным методическим документом «Методы расчета рассеивания выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосфер-

ном воздухе» современные круизные суда с высотой устья труб от 30 до 50 м относятся к средним горячим источникам выбросов, более 50 м — к высоким горячим источникам выбросов (к ним относятся многие современные лайнеры), поэтому максимально высокие концентрации примесей формируются не непосредственно в месте выброса, а на некотором удалении от источника.

Так, например, результаты расчета для Севастополя, осуществленные по сценарию, когда один лайнер типа Costa Magica готовится к отправке в рейс, показали, что краткосрочные (с двадцатиминутным осреднением) максимальные концентрации NO_2 (при 80 %-ной трансформации NO в NO_2) и SO_2 , достигающие соответственно 1,5–2 и 1–1,5 ПДК, будут наблюдаться в историческом микрорайоне «Графская пристань» (рис. 3, а и б).

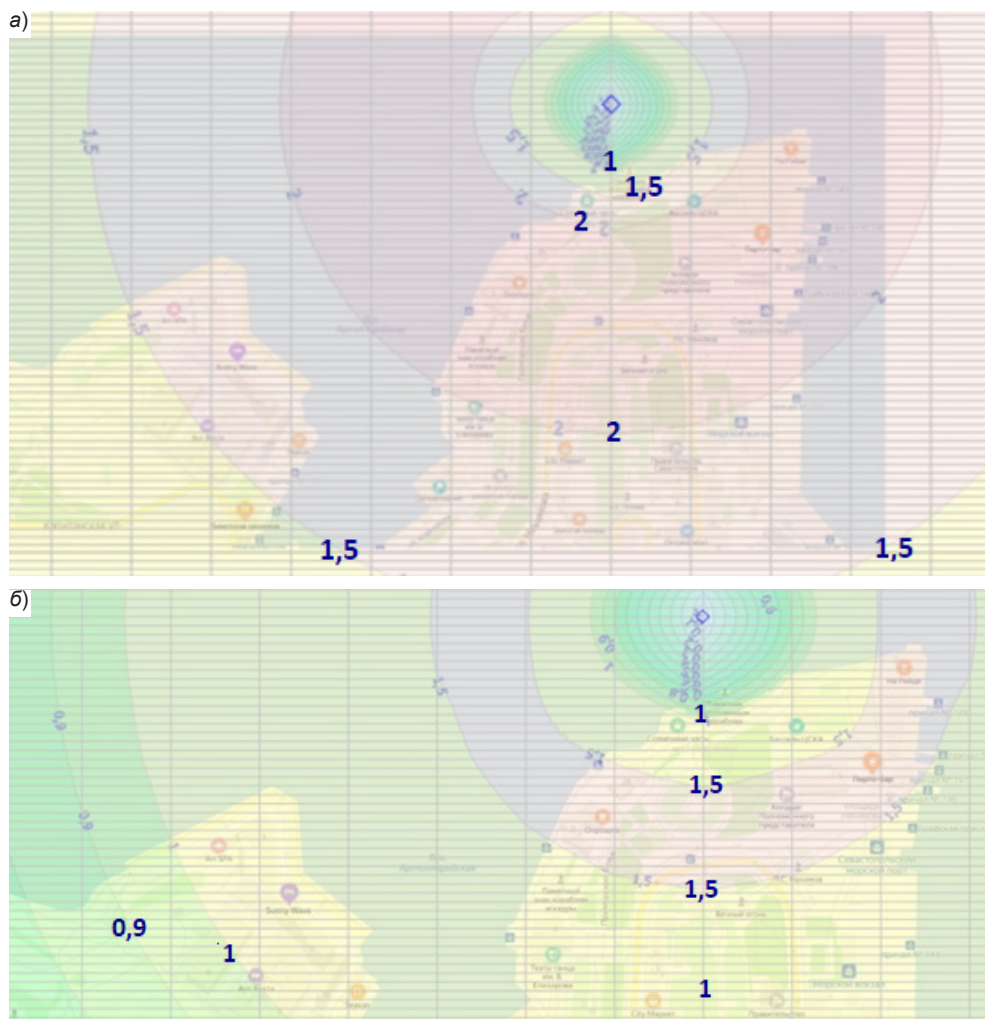


Рис. 3. Прогноз загрязнения воздуха NO_2 (а) и SO_2 (б) в микрорайоне «Графская пристань» Севастополя круизным судном типа Costa Magica при неблагоприятных метеоусловиях

Если в Севастопольской бухте готовится к отправке один круизный лайнер типа *Celebrity Constellation*, для которого характерны менее высокие выбросы загрязняющих веществ, чем для судов типа *Costa Magica*, влияние его выбросов даже при неблагоприятных метеоусловиях будет минимальным — концентрации диоксида азота и диоксида серы не будут превышать предельно допустимые значения (рис. 4, а и б).

Расчетные прогностические уровни ожидаемого превышения ПДК диоксидом азота и диоксидом серы в окрестности Морского вокзала Владивостока, от причалов которого отправляются в рейс два круизных судна типа *Westerdam* и *Costa NeoRomantica*, составили соответственно 1,5–2,0 ПДК по NO_2 (рис. 5, а) и 1,0–1,5 ПДК по SO_2 (рис. 5, б).

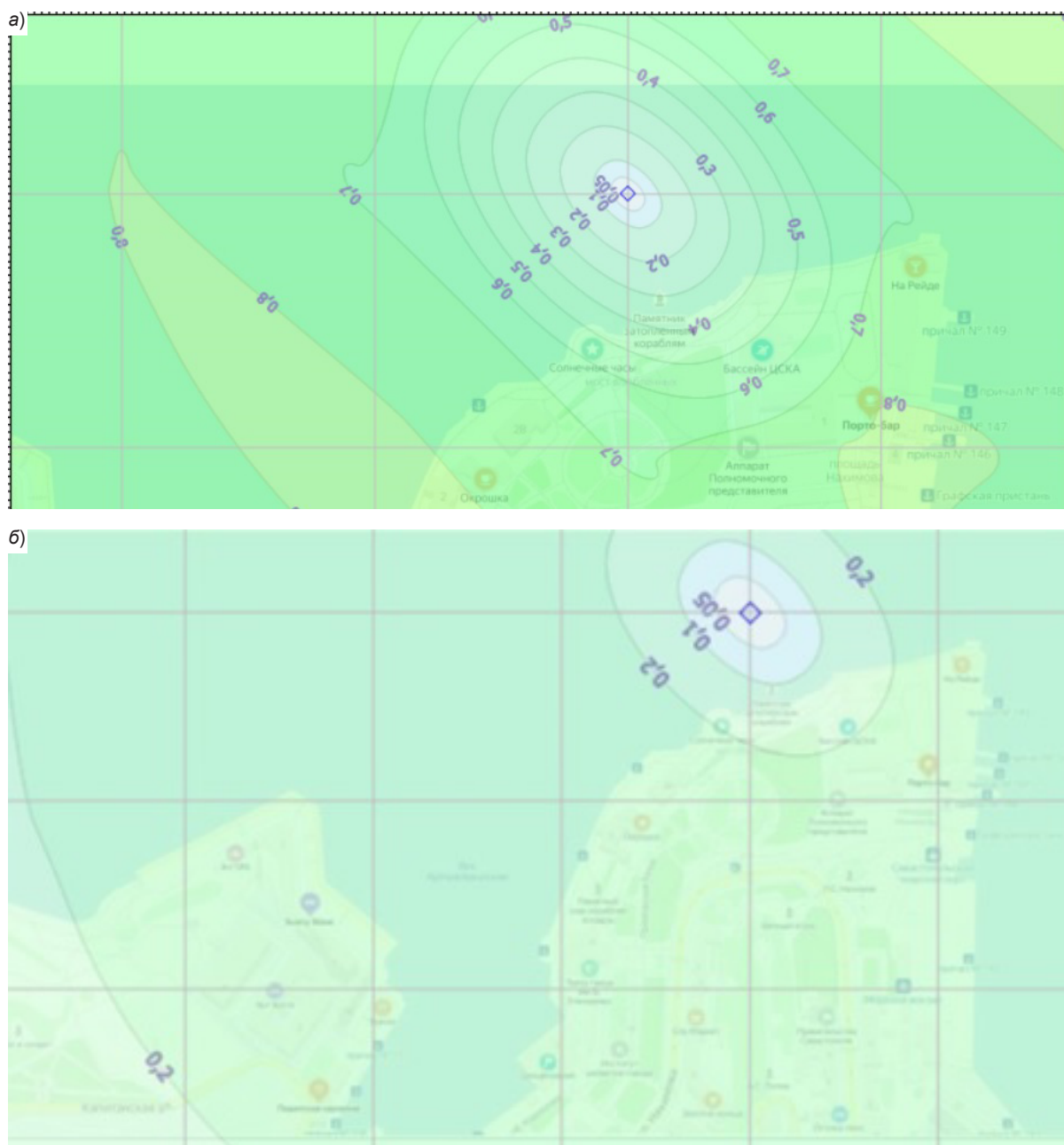


Рис. 4. Прогноз загрязнения воздуха NO_2 (а) и SO_2 (б) в микрорайоне «Графская пристань» Севастополя круизным судном типа *Celebrity Constellation* при неблагоприятных метеоусловиях

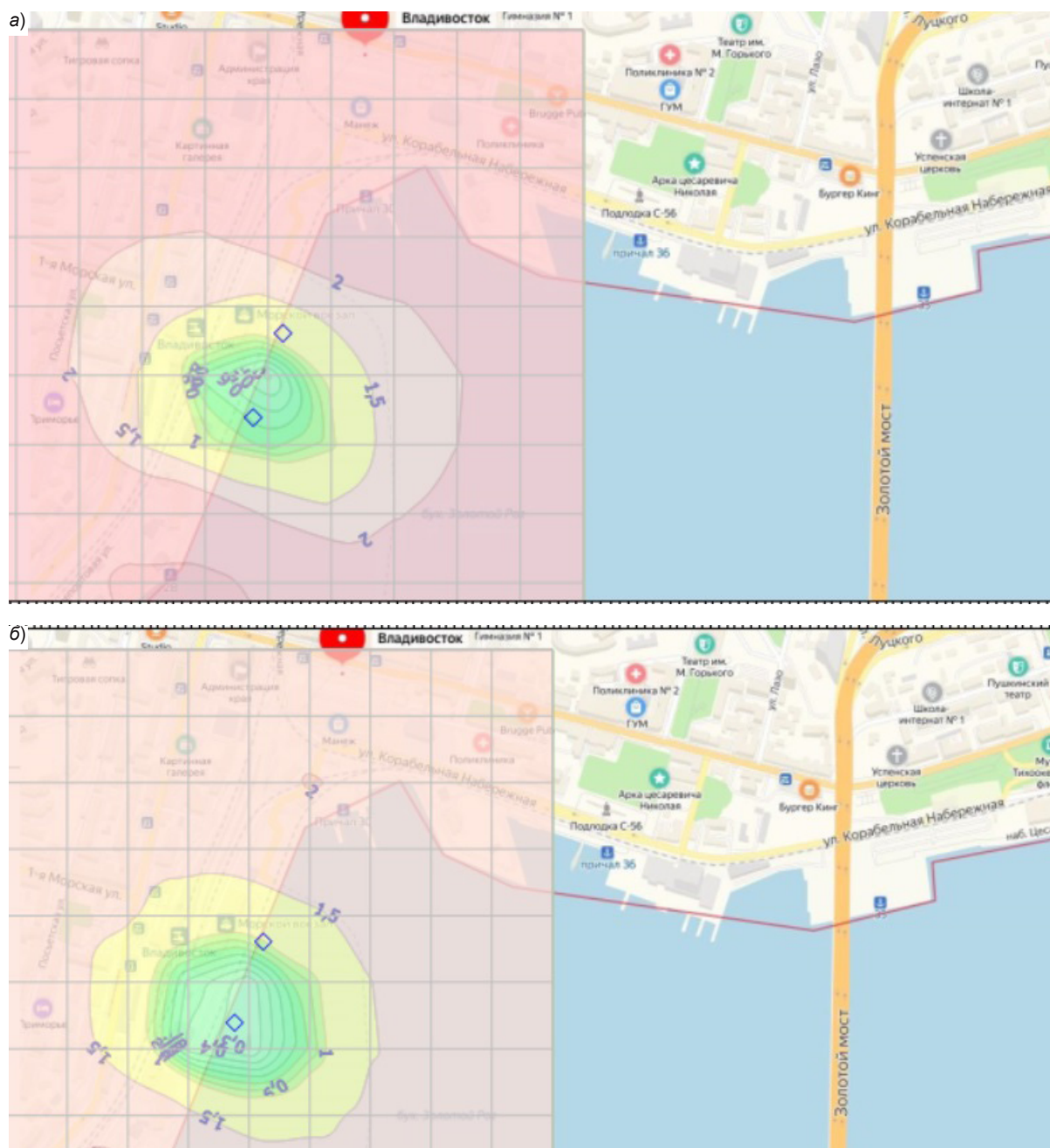


Рис. 5. Прогноз одновременного загрязнения воздуха NO_2 (а) и SO_2 (б) в окрестности морского вокзала Владивостока двумя круизными судами типа *Westerdam* и *Costa NeoRomantica* при неблагоприятных метеоусловиях

Расчетные оценки ожидаемого превышения ПДК диоксидом азота и диоксидом серы в микрорайоне «Морской фасад Санкт-Петербурга», проведенные для условий максимальной загрузки порта при одновременном пребывании четырех круизных лайнеров (типа *Celebrity Constellation*, *Sapphire Princess*, *Costa Magica* и *Rotterdam*), показали, что концентрации загрязнителей в близ-

лежащем жилом квартале «Морской фасад» не будут превышать 1,2 ПДК по NO_2 и 0,4–0,7 ПДК по SO_2 даже при anomalно неблагоприятных метеоусловиях (рис. 6).

Результаты расчетов, проведенные с использованием программных продуктов «Магистраль» и «Эколог», согласно процедуре, описанной в разделе «Методы и материалы», отдельно для

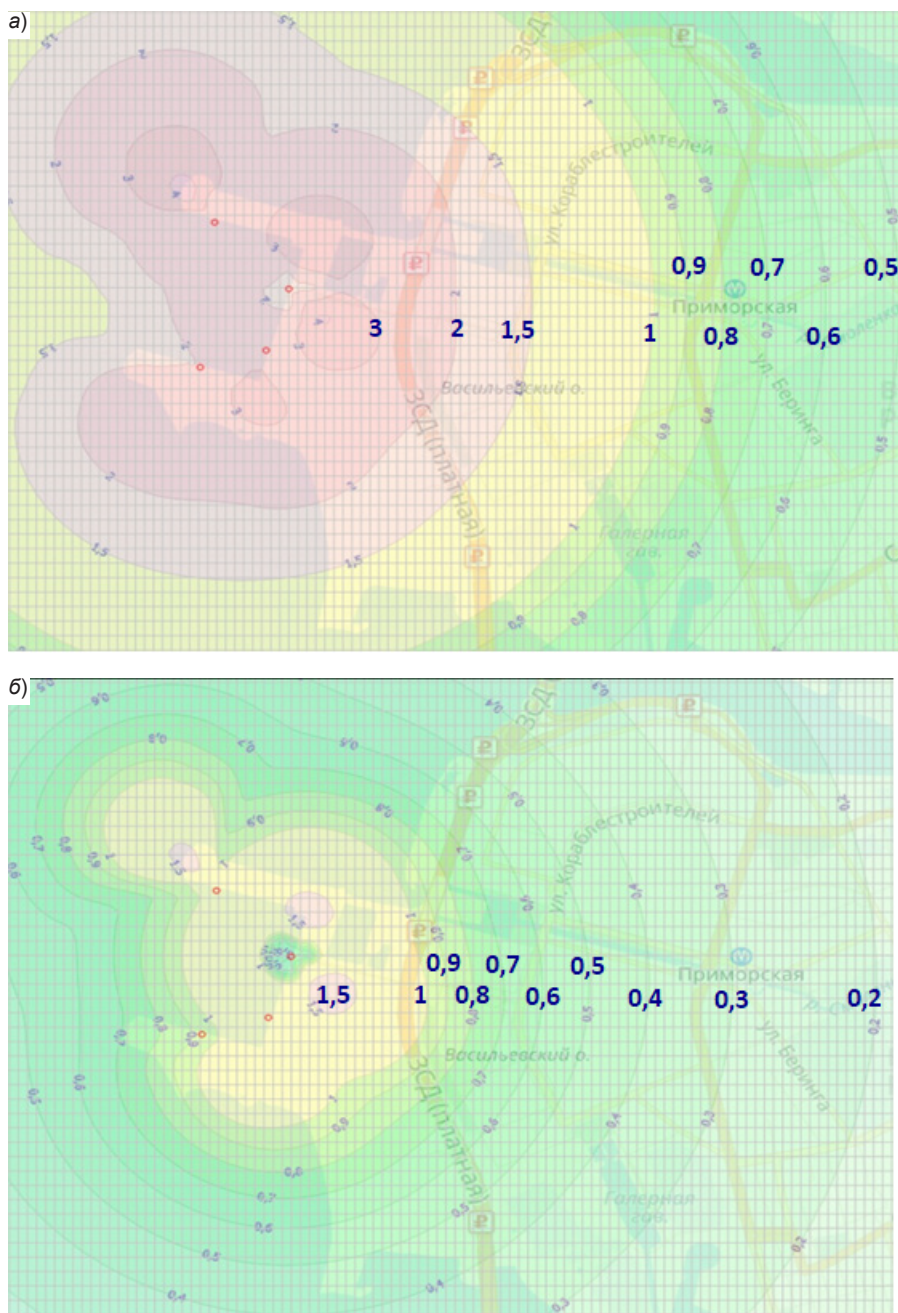


Рис. 6. Прогноз загрязнения воздуха NO₂ (а) и SO₂ (б) в окрестности морского порта «Морской фасад Санкт-Петербурга» четырьмя круизными судами типа Celebrity Constellation, Sapphire Princess, Celebrity Constellation и Rotterdam при неблагоприятных метеоусловиях

автотранспортных потоков для условий неблагоприятной стратификации атмосферы, высокой интенсивности движения в часы пик, показали, что наиболее проблемным является загрязнение воздуха оксидами азота, в том числе диоксидом азота, содержание которого при высокой инсоляции может достигать:

- 1,2–2,0 ПДК вблизи пр. Нахимова в центре Севастополя при интенсивности движения ≈ 1500 авт./ч;
- 2,5–4,5 ПДК в жилых кварталах, прилегающих к бухте Золотой рог г. Владивостока и подверженных воздействию выбросов автотранспорта, перемещающегося по Золотому мосту,

Светланской ул. и Верхнепортовой ул. (интенсивность движения в часы пик составляет ≈ 6400 , 3200 и 2700 авт./ч соответственно);

• 2,2–4,4 ПДК в жилом микрорайоне Морской фасад Санкт-Петербурга, ограниченного двумя магистралями с высокой интенсивностью движения, а именно ЗСД (≈ 4200 авт./ч) и ул. Кораблестроителей (≈ 4000 авт./ч).

Заключение

В последние годы в мире значительно вырос спрос на морской круизный туризм, и российские морские города-порты, включая Севастополь, Санкт-Петербург и Владивосток, благодаря своей исторической и культурной значимости привлекательны для иностранных туристов и круизных туроператоров. Морской пассажирский порт Санкт-Петербурга является на сегодняшний день лидером по количеству судозаходов круизных лайнеров и числу туристов, прибывающих этим видом транспорта в город. В других городах-портах в течение последних десяти лет также наблюдалась тенденция роста этого вида туристической деятельности.

Морской туризм признан одним из самых доходных видов туризма, вносящим весомый вклад в местные бюджеты городов и регионов, поэтому необходимость его развития в нашей стране очевидна. В то же время следует признать, что гигантские лайнеры, оснащенные мощными энергетическими судовыми установками, преимущественно работающими на тяжелых углеводородных топливах, представляют собой дополнительные источники выбросов загрязняющих веществ и парниковых газов, способных оказать негативное воздействие на качество воздуха в городах.

Проведенные расчетные исследования для жилых (или исторических) микрорайонов Севастополя, Владивостока и Санкт-Петербурга, расположенных вблизи морских портов, показали, что на сегодняшний день повышенное загрязнение воздуха в периоды неблагоприятных метеорологических условий преимущественно связано не с выбросами круизных судов, а с выбросами от автотранспортных потоков. Наиболее проблемным для всех городов является загрязнение атмосферы оксидами азота. Полученные расчетные оценки подтверждаются результатами экспериментальных измерений, проводимых

службами Росгидромета, Росприроднадзора и Роспотребнадзора и публикуемых в ежегодных государственных докладах этих ведомств.

Финансирование

Работа осуществлена при поддержке гранта РФФИ (№ проекта 18-410-920016 р_а, 2018–2019 гг.) «Исследование социально-экономических и экологических процессов города Севастополя с ростом индустриального, транспортно-транзитного и туристического потенциалов».

Литература

1. Abbasov, F. (2019). Luxury cruise giant emits 10 times more air pollution (SO_x) than all of Europe's cars. [online] Available at: <https://www.transportenvironment.org/press/luxury-cruise-giant-emits-10-times-more-air-pollution-sox-all-europe-s-cars---study> [Date accessed 07.12.2019].
2. Berlyand, M. E. (1991). Prediction and Regulation of Air Pollution. Atmospheric and Oceanographic Sciences Library, Book 14. Springer, 320 p.
3. Eckhardt, S., Hermansen, O., Grythe, H., Fiebig, M., Stebel, K., Cassiani, M., Baecklund, A. and Stoh, A. (2013). The influence of cruise ship emissions on air pollution in Svalbard – a harbinger of a more polluted Arctic? *Atmos. Chem. Phys.*, No. 13, pp. 8401–8409.
4. Genikhovich, E. L. and Sciermeier, F. A. (1995). Comparison of United States and Russian complex terrain diffusion models developed for regulatory applications. *Atmos. Environ.*, No. 29 (17), pp. 2375–2385.
5. Genikhovich, E. L., Gracheva, I. G., Onikul, R. I. and Filatova, E. N. (2002). Air pollution modeling at urban scale – Russian experience and problems. *Water, Air, Soil Pollut.: Focus 2*, No. 5-6, pp. 501–512.
6. Graw, R. and Faure, A. (2010). Air Pollution Emission Inventory For 2008 Tourism Season Klondike Gold Rush National Heritage Park Skagway, Alaska. Alaska Department of Environmental Conservation. Division of Water. Cruise Ship Program. 60 p.
7. Karl, M., Jonson, J. E., Uppstu, A. et al. (2019). Effects of ship emissions on air quality in the Baltic Sea region simulated with three different chemistry transport models *Atmos. Chem. Phys.*, No. 19, pp. 7019–7053.
8. Lozhkin, V., Lozhkina, O. and 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*, No. 23 (13), pp. 96–100.
9. Lozhkin, V. N. and Lozhkina, O. V. (2017). Forecast of extreme air pollution by water and road transport in the zone of the cable-slayed bridges of St. Petersburg and Vladivostok. *Water and ecology: problems and solutions*, No. 21 (3), pp. 133–145.
10. Lozhkina, O. V. and Lozhkin, V. N. (2015). Estimation of road transport related air pollution in Saint Petersburg using European and Russian calculation models. *Transport. Res. Part D*, No. 36, pp. 178–189.
11. Lozhkina, O., Lozhkin, V. and Ntziachristos, L. (2018). Estimation and prediction of the effect of alternative engine technologies and policy measures on the air quality in

St. Petersburg in 2010-2030. *Architecture and Engineering*, Vol. 3 (4), pp. 31–35.

12. Lozhkina, O., Lozhkin, V., Nevmerzhtsky, N., Tarkhov, D. and Vasilyev, A. (2016). Motor transport related harmful PM_{2.5} 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* 772 (1). [online] Available at: <http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/772/1/012031> [Date accessed 07.12.2019].

13. Lozhkin, V. N., Lozhkina, O. V. and Dobromirov, V. N. (2017). Forecast of extreme air pollution by water and road transport in the zone of the cable-stayed bridges of St. Petersburg and Vladivostok. *Water and Ecology*, No. 3 (71), pp. 133–145. DOI: 10.23968/2305-3488.2017.21.3.133-145.

14. Mölders, N., Gende, S. and Pirhalla, M. (2013). Assessment of cruise-ship activity influences on emissions, air quality, and visibility in Glacier Bay National Park. *Atmospheric Pollution Research*, No. 4, pp. 435–445.

15. Mueller, D., Uibel, S., Takemura, M., Klingelhofer, D. and Groneberg, D. A. (2011) Ships, ports and particulate air pollution - an analysis of recent studies. *J. Occup. Med. Toxicol.*, No. 6 (31). DOI: 10.1186/1745-6673-6-31.

16. Perdiguero, J. and Sanz, A. (2019). Cruise activity and pollution: the case of Barcelona Universita Autònoma de Barcelona. 68 p.

17. Ruiz-Guerra, I., Molina-Moreno, V., Cortes-García, F. J. and Pedro Nunez-Cacho, P. (2019). Prediction of the impact on air quality of the cities receiving cruise tourism: the case of the Port of Barcelona. *Heliyon*, No. 5, e01280. DOI: 10.1016/j.heliyon.2019.e01280.

18. Saraçoğlu, H., Cengiz, C. and Kiliç, A. (2013). An Investigation on the Effects of Ship Sourced Emissions in Izmir Port, Turkey. *The Scientific World Journal*, No. 3. [online] Available at: <http://dx.doi.org/10.1155/2013/218324> [Date accessed 07.12.2019].

19. Sofiev, M., Winebrake, J. J., Johansson, L., Carr, E. W., Prank, M., Soares, J., Vira, J., Kouznetsov, R., Jalkanen, J.-P. and Corbett, J. J. (2018). Cleaner fuels for ships provide public health benefits with climate trade offs. *NATURE COMMUNICATIONS*. No. 9, 406. DOI: 10.1038/s41467-017-02774-9.

References

1. Abbasov, F. (2019). Luxury cruise giant emits 10 times more air pollution (SO_x) than all of Europe's cars. [online] Available at: <https://www.transportenvironment.org/press/luxury-cruise-giant-emits-10-times-more-air-pollution-sox-all-europe-s-cars-study> [Date accessed 07.12.2019].

2. Berlyand M. E. (1991). Prediction and Regulation of Air Pollution. Atmospheric and Oceanographic Sciences Library, Book 14. Springer, 320 p.

3. Eckhardt S., Hermansen O., Grythe H., Fiebig M., Stebel K., Cassiani M., Baecklund A., and Stoh A. (2013). The influence of cruise ship emissions on air pollution in Svalbard – a harbinger of a more polluted Arctic? *Atmos. Chem. Phys.*, No. 13, pp. 8401–8409.

4. Genikhovich, E. L. and Sciermeier, F. A. (1995). Comparison of United States and Russian complex terrain diffusion models developed for regulatory applications. *Atmos. Environ.*, No. 29 (17), pp. 2375–2385.

5. Genikhovich, E. L., Gracheva, I. G., Onikul, R. I., Filatova, E. N. (2002). Air pollution modeling at urban scale – Russian experience and problems. *Water, Air, Soil Pollut.: Focus* 2, No. 5–6, pp. 501–512.

6. Graw, R. and Faure, A. (2010). Air Pollution Emission Inventory For 2008 Tourism Season Klondike Gold Rush National Heritage Park Skagway, Alaska. Alaska Department of Environmental Conservation. Division of Water. Cruise Ship Program. 60 p.

7. Karl, M., Jonson, J. E., Uppstu, A. et al. (2019). Effects of ship emissions on air quality in the Baltic Sea region simulated with three different chemistry transport models *Atmos. Chem. Phys.*, No. 19, pp. 7019–7053.

8. Lozhkin, V., Lozhkina, O. and 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*, No. 23 (13), pp. 96–100.

9. Lozhkin, V. N. and Lozhkina, O. V. (2017). Forecast of extreme air pollution by water and road transport in the zone of the cable-stayed bridges of St. Petersburg and Vladivostok. *Water and ecology: problems and solutions*, No. 21(3), pp. 133–145.

10. Lozhkina, O. V. and Lozhkin, V. N. (2015). Estimation of road transport related air pollution in Saint Petersburg using European and Russian calculation models. *Transport. Res. Part D*, No. 36, pp. 178–189.

11. Lozhkina, O., Lozhkin, V. and Ntziachristos, L. (2018). Estimation and prediction of the effect of alternative engine technologies and policy measures on the air quality in St. Petersburg in 2010–2030. *Architecture and Engineering*, Vol. 3(4), pp. 31–35.

12. Lozhkina, O., Lozhkin, V., Nevmerzhtsky, N., Tarkhov, D. and Vasilyev, A. (2016). Motor transport related harmful PM_{2.5} 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* 772 (1). [online] Available at: <http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/772/1/012031> [Date accessed 07.12.2019].

13. Lozhkin, V. N., Lozhkina, O. V. and Dobromirov, V. N. (2017). Forecast of extreme air pollution by water and road transport in the zone of the cable-stayed bridges of St. Petersburg and Vladivostok. *Water and Ecology*, No. 3 (71), pp. 133–145. DOI: 10.23968/2305-3488.2017.21.3.133-145.

14. Mölders, N., Gende, S. and Pirhalla, M. (2013). Assessment of cruise-ship activity influences on emissions, air quality, and visibility in Glacier Bay National Park. *Atmospheric Pollution Research*, No. 4, pp. 435–445.

15. Mueller, D., Uibel, S., Takemura, M., Klingelhofer, D. and Groneberg, D. A. (2011) Ships, ports and particulate air pollution - an analysis of recent studies. *J. Occup. Med. Toxicol.*, No. 6 (31). DOI: 10.1186/1745-6673-6-31.

16. Perdiguero, J. and Sanz, A. (2019). Cruise activity and pollution: the case of Barcelona Universita Autònoma de Barcelona. 68 p.

17. Ruiz-Guerra, I., Molina-Moreno, V., Cortes-García, F. J. and Pedro Nunez-Cacho, P. (2019). Prediction of the impact on air quality of the cities receiving cruise tourism: the case of the Port of Barcelona. *Heliyon*, No. 5, e01280. DOI: 10.1016/j.heliyon.2019.e01280.

18. Saraçoglu, H., Cengiz, C. and Kiliç, A. (2013). An Investigation on the Effects of Ship Sourced Emissions in Izmir Port, Turkey. *The Scientific World Journal*, No. 3. [online] Available at: <http://dx.doi.org/10.1155/2013/218324> [Date accessed 07.12.2019].

19. Sofiev, M., Winebrake, J. J., Johansson, L., Carr, E. W., Prank, M., Soares, J., Vira, J., Kouznetsov, R., Jalkanen, J.-P. and Corbett, J. J. (2018). Cleaner fuels for ships provide public health benefits with climate trade offs. *NATURE COMMUNICATIONS*, No. 9, 406. DOI: 10.1038/s41467-017-02774-9.

Авторы

Ложкин Владимир Николаевич, д-р техн. наук, профессор

Санкт-Петербургский университет Государственной противопожарной службы МЧС России, Санкт-Петербург, Россия

E-mail: vnlojkin@yandex.ru

Ложкина Ольга Владимировна, д-р техн. наук, доцент

Санкт-Петербургский университет Государственной противопожарной службы МЧС России, Санкт-Петербург, Россия

Институт проблем транспорта им. Н. С. Соломенко Российской академии наук, Санкт-Петербург, Россия

E-mail: olojkina@yandex.ru

Селиверстов Святослав Александрович, канд. техн. наук

Институт проблем транспорта им. Н. С. Соломенко Российской академии наук, Санкт-Петербург, Россия

E-mail: seliverstov_s_a@mail.ru

Крипак Марина Николаевна, канд. техн. наук, доцент
Севастопольский государственный университет,
Севастополь, Россия

E-mail: marikol@yandex.ru

Authors

Lozhkin Vladimir Nikolaevich, Dr. of Engineering,
Professor

St. Petersburg University of State Fire Service of Emercom
of Russia, St. Petersburg, Russia

E-mail: vnlojkin@yandex.ru

Lozhkina Olga Vladimirovna, Dr. of Engineering,
associate professor

St. Petersburg University of State Fire Service of Emercom
of Russia, St. Petersburg, Russia

Solomenko Institute of Transport Problems of the Russian
Academy of Sciences, St. Petersburg, Russia

E-mail: olojkina@yandex.ru

Seliverstov Svyatoslav Alexandrovich, PhD. in
Engineering

Solomenko Institute of Transport Problems of the Russian
Academy of Sciences, St. Petersburg, Russia

E-mail: seliverstov_s_a@mail.ru

Kripak Marina Nikolaevna, Ph. D. in Engineering,
associate professor

Sevastopol State University, Sevastopol, Russia

E-mail: marikol@yandex.ru