

Научная статья

УДК 656(1-21):504.3.054:338.14; DOI: 10.61260/1998-8990-2026-2-68-79

**РИСК-ОРИЕНТИРОВАННАЯ МЕТОДОЛОГИЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ
УЩЕРБА ОТ ЧРЕЗВЫЧАЙНО ОПАСНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОЗДУХА
ТРАНСПОРТОМ В САНКТ-ПЕТЕРБУРГЕ**

✉ Ложкин Владимир Николаевич.

Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России, Санкт-Петербург, Россия

✉ vnlojkin@yandex.ru

Аннотация. В аспекте чрезвычайного экологического кризиса глобального масштаба, выражающегося катастрофическим изменением климата, сокращением биологического видового разнообразия флоры и фауны, загрязнением поллютантами окружающей человека воздушной среды его обитания и, как следствие, беспрецедентного роста заболеваемости в густонаселенных индустриальных агломерациях планеты, исследуется вопрос контроля чрезвычайно опасного загрязнения атмосферы городским транспортом по критериям наносимого населению ущерба в Санкт-Петербурге. Контроль осуществляется по индикаторам ожидаемых, «некомпенсируемых» рыночными механизмами «издержек» (ущербов) той части городского населения, которая, не участвуя в организации процессов оказания транспортных услуг и приобретения от этой деятельности прибыли, оказывается наиболее уязвимой в отношении рисков ухудшения условий жизнедеятельности в результате загрязнения атмосферного воздуха. Оригинальные оценочные модели и алгоритмы расчета «внешних издержек» адаптированы к современным подходам государственной их «компенсации», внедренных в отдельных зарубежных странах, с учетом адаптации к реальному техническому состоянию эксплуатируемого городского транспорта и финансово-демографической социальной среды Санкт-Петербурга. Приводятся расчетные оценки чрезвычайного сверхнормативного накопления в воздухе частиц сажи, оксидов серы, азота, углерода и углеводородов. Оценки выражаются в натуральных и денежных показателях, отслеживаемых по негативным эффектам нарушения состояния здоровья, ухудшения качества агропродукции, «порчи» элементов инфраструктуры, потепления климата.

Ключевые слова: городской транспорт, вредные (загрязняющие) вещества, атмосфера, здоровье населения, парниковые газы, климат, чрезвычайная экологическая ситуация, «внешние издержки»

Для цитирования: Ложкин В.Н. Риск-ориентированная методология прогнозирования ущерба от чрезвычайно опасного загрязнения воздуха транспортом в Санкт-Петербурге // Проблемы управления рисками в техносфере. 2026. № 2 (78). С. 68–79. DOI: 10.61260/1998-8990-2026-2-68-79

Scientific article

A RISK-BASED METHODOLOGY FOR FORECASTING DAMAGES FROM EXTREMELY HAZARDOUS AIR POLLUTION FROM TRANSPORT IN SAINT-PETERSBURG

✉ Lozhkin Vladimir N.

Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia, Saint-Petersburg, Russia

✉ vnlojkin@yandex.ru

Abstract. In the context of an extraordinary global environmental crisis, characterized by catastrophic climate change, the decline of biodiversity, the pollution of the human air with pollutants, and, consequently, an unprecedented rise in disease rates in densely populated industrial agglomerations around the world, the issue of monitoring extremely hazardous air pollution from urban transport is examined based on the damage caused to the population in Saint-Petersburg. Monitoring is carried out using indicators of expected «costs» (damages) «uncompensated» by market mechanisms for that portion of the urban population that, by not participating in the organization of transportation services and profiting from these activities, is most vulnerable to the risks of deteriorating living conditions as a result of air pollution. Original assessment models and algorithms for calculating «external costs» are adapted to modern approaches to state «compensation» implemented in certain foreign countries, taking into account the actual technical condition of operating urban transport and the financial, demographic, and social environment of Saint-Petersburg. Estimates are provided for the extreme, excessive accumulation of soot particles, sulfur oxides, nitrogen, carbon, and hydrocarbons in the air. The estimates are expressed in physical and monetary terms, measured by the negative effects of poor health, deterioration in the quality of agricultural products, damage to infrastructure, and global warming.

Keywords: urban transport, harmful substances (pollutants), atmosphere, public health, greenhouse gases, climate, environmental emergency, «external costs»

For citation: Lozhkin V.N. A risk-based methodology for predicting damage from extremely hazardous air pollution from transport in Saint-Petersburg // Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere = Problems of risk management in the technosphere. 2026. № 2 (78). P. 68–79. DOI: 10.61260/1998-8990-2026-2-68-79

Введение. Состояние проблемы

Столпами глобальной устойчивости развития цивилизации в актуальной повестке дня, как известно [1, 2], являются проблемы, так называемого, «тройного планетарного кризиса», а именно: изменение климата [3], уменьшение разнообразия видов [4]¹ и загрязнение опасными химическими веществами промышленности окружающей природной среды [5]. Смягчение остроты негативных последствий тройного экологического кризиса на планетарном и региональном уровнях востребовали сочетание междисциплинарных методологических подходов, органично сочетающих политические (административные), технологические (технические) и экономические (в частности, инвестиционные) «инструменты» совместно с анализом последствий ухудшения, к примеру, качества воздушной среды городов на протяжении всего периода использования продуктов, к примеру, транспортных процессов или административных (государственных) политических стратегий [1, 2].

¹ The Rio Declaration on Environment and Development: from The United Nations Conference on Environment and Development. URL: http://www.unesco.org/education/pdf/RIO_E.PDF (дата обращения: 16.04.2026)

Иллюстрацией к отмеченному является, экспериментально засвидетельствованный авторами [5] феномен влияния интенсивности транспорта непосредственно на загрязнение окружающей среды крупного города, выразившийся метаморфозой снижения уровня концентраций NO_2 и бензола по причине административного введения карантина из-за COVID-19, за которым последовало снижение потребности населения в транспортных услугах на весь период его действия в г. Дели (Индия). Исследованиями автора [6] была доказана решающая роль в загрязнении нижнего (приземного) слоя городской атмосферы, отличающемся интенсивным турбулентным перемешиванием в нем «взвешенных» аэрозольных частиц в условиях метеорологического режима стратифицированной атмосферы, или, – образованием «застойных» зон в регионе по причине температурной инверсии и скорости ветра меньше 2 м/с.

Из законов энергодинамики рабочих процессов тепловых транспортных двигателей [7] в исследовании [8], на примере улично-дорожной сети Санкт-Петербурга, расчетным путем было показано, что экстремальные загрязнения воздушной среды поллютантами и парниковыми газами носят ярко выраженный, локальный характер, а на оздоровление окружающей среды весомое положительное влияние оказывает установка на муниципальные автобусы каталитических нейтрализаторов авторской [9] конструкции с рекуперацией тепла отработавших газов (ОГ). Разработке технологий производства и испытаний перспективных термически прочных алюминиевых сплавов для корпусных деталей таких востребованных в автомобильной промышленности устройств, как правило, сложной геометрической формы уделяется сегодня повышенное внимание [10].

Процитированными ранее исследованиями авторов г. Дели в Индии [5] была установлена (оказавшейся закономерной) связь уровня концентраций поллютантов и парниковых газов в ОГ транспортных средств с видом рабочего процесса двигателя (дизельный, бензиновый), а также положительное влияние электромобилей на оздоровление городской среды в местах интенсивной эксплуатации городского транспорта (ГТ). Ученые Московского автомобильно-дорожного университета (МАДИ) в работе [7] доказали перспективность решения анализируемой эколого-энергетической проблемы комбинированных поршневых дизельных двигателей путем аккумулирования под высоким давлением энергии впрыскивания в цилиндры топлива.

В европейских государствах наряду с внедрением программы «Copert methodology», рассмотренной в авторской работе [11], «бремя» воздействия на горожан выбросов ЗВ от ГТ стало нейтрализоваться налоговой практикой с помощью экономико-финансовых инструментов оценки «внешних издержек»². «Внешние издержки» – это экологические ущербы от выброса вредных (загрязняющих атмосферу) веществ (ЗВ), компенсируемые администрацией, по сути, в принудительном порядке. В чрезвычайно опасных ситуациях воздействия ЗВ ГТ на население и объекты критической инфраструктуры «западный» опыт³ стал востребован и в Санкт-Петербурге [12], так как компенсация экологических ущербов, наносимых населению ГТ, не попадает в сферу регулирования рыночными механизмами. Для Санкт-Петербурга проблема выбросов ГТ поллютантов [8, 11, 12], аналогично городам мира [5], на рубеже 2000 г. стала особо актуальной. В связи с обострением проблемы углеродной нейтральности актуализировались как вопросы учета CO_2 , метана CH_4 от колесных транспортных средств [2], так и, опосредованно, от тепловых электростанций, – в эквиваленте расходуемой электрической энергии [10] электрическим ГТ, а именно, троллейбусами, трамваями, наземными электричками и подземными электропоездами метрополитена [11, 12]. Изложению результатов данных исследований посвящена статья.

² Проект «Оценка внешних издержек функционирования транспорта в Санкт-Петербурге» («External costs of transport in St. Petersburg»), поддержанный Министерством транспорта Дании и Комитетом по транспорту Правительства Санкт-Петербурга, 1999–2003

³ Проект «Управление качеством воздуха в странах Восточной Европы» («Air Quality Governance in the ENPI East Countries»), поддержанный Европейской Комиссией (EuropeAid/129522/C/SER/Multi; Contract № 2010/232-231) и Министерством природных ресурсов Российской Федерации, 2011–2014

Объекты и методология исследований

Объектами исследования были загрязнители (ТЧ, NO_x, SO₂, CO, HC – не менее 95 %) и парниковые газы (CO₂, CH₄), поступающие и загрязняющие воздушную среду Санкт-Петербурга при эксплуатации всех видов наземного и подземного ГТ (автотранспорт, трамваи, троллейбусы, электропоезда, в том числе, метрополитена, кроме водного транспорта). Объемы выбросов ЗВ от электрического ГТ оценивались по тем же загрязнителям атмосферы тепловых электростанций, генерирующих в эквиваленте расходуемой конкретным видом ГТ электроэнергию путем сжигания природного газа [11].

Методика расчета ущерба, причиняемого населению, объектам городской инфраструктуры, агропромышленному комплексу, лесному и парковому хозяйствам и воздействия на климат твердыми частицами, углеводородами, оксидами серы и азота, угарным и парниковыми газами, как производных работы ГТ, выполняется по показателям ожидаемых «некомпенсируемых внешних издержек» [11]. На рис. 1 представлена схема маршрутизации отслеживаемого эффекта негативного влияния загрязнения атмосферы ГТ. Особенностью методологии расчета ущерба, испытываемого горожанами, выполняется в соответствии с подходом учета «некомпенсируемых рыночными механизмами» [11] издержек от загрязнения атмосферного воздуха загрязнителями и парниковыми газами (преимущественно, CO₂, CH₄) в результате функционирования ГТ [12]. Решение данной проблемы, по положительному опыту некоторых зарубежных стран [2, 5], детально проанализированного в работе [11], предполагает «вмешательство» городской администрации в экономическое «рыночное» регулирование транспортных процессов.

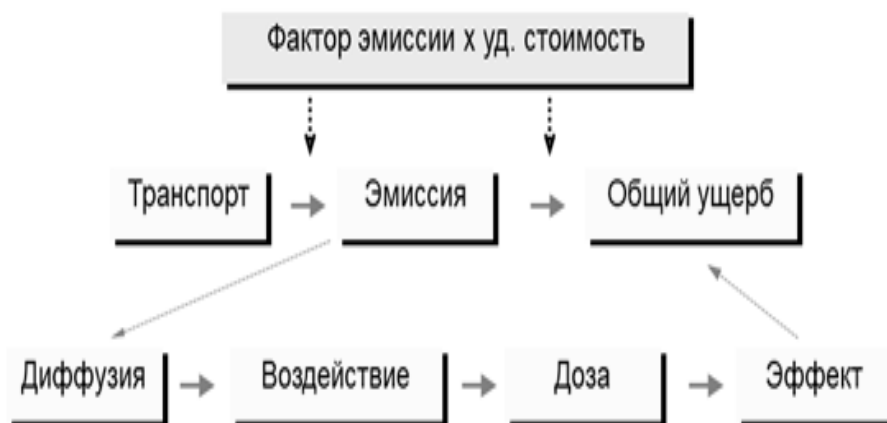


Рис. 1. Схема маршрута отслеживания негативного эффекта от выбросов ГТ

Оно направлено на «смягчение» рисков сверхнормативного токсического, канцерогенного, климатического и инфраструктурного разрушающего воздействия атмосферных загрязнителей ГТ, выражаемых в натуральных и монетарных показателях. Расчетные исследования проведены для альтернативных гипотетических сценариев, предполагающих внедрение Администрацией Санкт-Петербурга мероприятий реформирования ГТ и перевозочных процессов, направленных на «оздоровление» воздушной среды. При этом монетарное выражение ущерба от ЗВ транспорта выражается в удельных показателях отношения издержек в рублях/Евро на единицу объема/массы эмитируемого в атмосферу загрязнителя или парникового газа, а негативное воздействие загрязнителя отслеживается по доказанным на сегодняшний день наукой и практикой связям [6] (рис. 2).

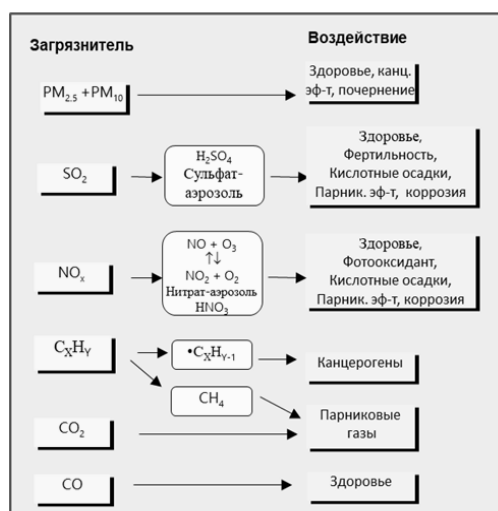


Рис. 2. Связь химических загрязнителей с отслеживаемыми негативными воздействиями

Если отмеченное резюмировать, оригинальной особенностью авторского подхода отслеживания специфики негативных эффектов воздействия (правая часть рис. 2) от химических загрязнителей атмосферного воздуха (левая часть рис. 2), является их разнообразие: здоровье горожан (токсичность CO и фото-оксидантов $NO + O_3 \rightleftharpoons NO_2 + O_2$, последние образуются в верхних слоях атмосферы под воздействием солнечной радиации, канцерогенез и ослабление детородных функций молодых женщин – «фертильности» от воздействия полициклических углеводородов C_xH_{y-1} и других ЗВ, в частности, твердых частиц проникающе-опасных размеров $PM_{2.5}$ и PM_{10} , отравление «легким смогом» O_3 – озоном), потеря урожайности агрономических культур в результате закисления почвы сульфат- и нитрат-аэрозолями, содержащими H_2SO_4 и HNO_3 – «кислотные осадки», «почернение» зданий и объектов архитектуры сажей $PM_{2.5}$ и PM_{10} , химическая коррозия металлоконструкций водными растворами H_2SO_4 и HNO_3 , изменение климата от поступления в атмосферу «парниковых газов» CO_2 и CH_4 .

Алгоритмизация расчета издержек (рис. 3) от работы ГТ выполнялась с использованием программы «Corpert methodology» по трем этапам на основе данных «объема движения», эквивалентного производимой ГТ работе.

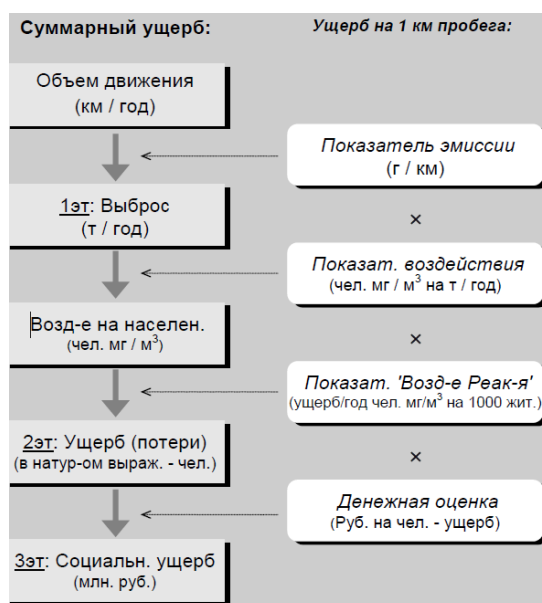


Рис. 3. Этапы определения внешних стоимостных издержек от ЗВ по объемам работы ГТ

На третьем этапе ущерб в натуральных единицах выражения переводится в стоимостные издержки для населения. Результирующий стоимостной ущерб от загрязнения атмосферного воздуха ГТ оценивался с использованием ущерба, приходящегося на 1 км пробега по видам ГТ (рис. 4).

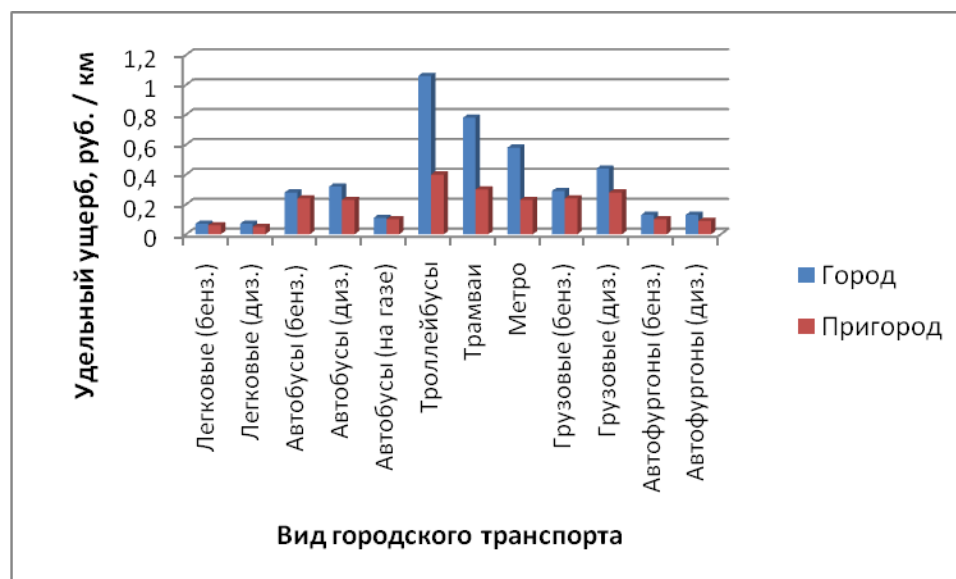


Рис. 4. Стоимостное выражение ущерба от загрязнения атмосферного воздуха, приходящегося на 1 км пробега ГТ

Существенные отличия ГТ с поршневыми двигателями внутреннего сгорания (ДВС) от электрического ГТ (рис. 4) могут найти объяснение (если не принимать во внимание то, что данные по расходованию электроэнергии для электрического транспорта оценивались по ее «списанию»):

- относительно топочного более высоким термическим коэффициентом полезного действия (КПД) организации рабочего процесса сгорания поршневых двигателей;
- значимыми механическими потерями мощности сопротивления качения троллейбуса в сравнении с рельсовым наземным и подземным ГТ;
- использованием геометрии профилирования рельсового полотна в метрополитене таким образом, чтобы задействовать силу земного притяжения для торможения поезда перед остановкой и разгона при наборе скорости.

В последнем алгоритмическом действии (рис. 3) «отслеживается» негативный ущерб от загрязнения атмосферы выбросами химических веществ от ГТ (рис. 1). По основным направлениям этого воздействия (рис. 2) путем оценки максимального и минимального отклонений численных характеристик уточняется и степень, неизбежная по причине «остаточной» неопределенности расчетов, значимость отслеживаемых критериев негативного воздействия. С полной версией авторской методики можно познакомиться по монографиям [11, 12].

Результаты изысканий

Наносимый экологический ущерб от загрязнения воздушной среды Санкт-Петербурга работающим ГТ оценивался по результатам численных оценок:

- годового выброса ЗВ в соответствии с адаптированной европейской методологией «Copert methodology» для гипотетических сценариев, планируемого городской Администрацией, совершенствования подвижного состава и развития муниципальных перевозочных процессов [5, 7, 8];

– ожидаемых, некомпенсируемых населению, «внешних издержек» от загрязнения атмосферы ЗВ выбросами транспорта, как следствие, разрушения зданий и стальных металлоконструкций из-за покрытия агрессивной сажей и коррозии; потери урожайности/продуктивности в сельском, лесном и животноводческом хозяйствах; глобального потепления климата от парниковых газов.

В сравнении с базовой ситуацией, сложившейся в Санкт-Петербурге к 2010 г. и характеризовавшейся существенной долей в парке автотранспорта 2-го экологического класса, оценивались, с высокой долей вероятной ожидаемости, движения к «европейской» модели реформирования ГТ [2, 4, 6], четыре гипотетических сценария на 2030 г., а именно:

1 – работа ГТ с непрерывным ростом в парке автотранспорта к 2012 г. доли автобусов, работающих на сжатом природном газе, с постепенным доведением этой доли до 1,5–3 % (принят за «базовый» сценарий);

2 – при сохранении тенденции с природным газом по п. 1, резко возросшей уже к 2012 г., – доведение его доли на муниципальных автобусах к 2030 г. до 30 %, с ростом в парке всего автотранспорта автомобилей, работающих на топливе 4, 5, 6 экологических классов, до 54–56 %;

3 – вместе с тенденциями по п. 1 доведение доли автотранспорта, работающего на сжатом природном газе, до 11 %, и увеличение доли пассажиров, перевозимых общественным транспортом, до 12 % при соответствующем сокращении пассажиров на индивидуальном ГТ;

4 – перевод всего автотранспорта на двигатели 6-го экологического класса при его обеспечении и моторным топливом соответствующего качества.

Методология информационного процесса мониторинга/прогнозирования загрязнения воздушной среды выбросами от ГТ и их негативного воздействия на население позволила оценить эффективность ранее отмеченных мероприятий по охране окружающей среды Санкт-Петербурга на перспективу до 2030 г.

В табл. 1 и на рис. 5 показан расчетный прогноз уменьшения к 2030 г. выбросов ГТ, включая с электрическим приводом и издержками от изменения климата⁴, вредных (загрязняющих) веществ для четырех рассматриваемых сценариев (по массе и в процентах по отношению к базовому сценарию – 2012 г.).

Таблица 1

**Уменьшение выбросов ГТ вредных веществ в атмосферу Санкт-Петербурга
в сумме к 2030 г. при четырех сценариях в сравнении с базовым сценарием, в тыс. т.**

Вещество	Сценарий			
	Сценарий 1	Сценарий 2	Сценарий 3	Сценарий 4
ТЧ	34	74	120	237
NO _x	1 146	115	9 925	12 808
CO	318	2 770	2 800	2 805
CH	14 176	27 087	125 730	131 607
CO ₂	1 908	3 610	20 569	20 959
SO ₂	123 531	194 618	1 141 988	1 309 469

Анализ данных прогноза позволяет сделать следующие выводы:

– внедрение автобусов, использующих газ в качестве моторного топлива (сценарий 1), с доведением их доли до 50 % от общего числа всех действующих автобусов, способно привести к уменьшению выбросов всех рассматриваемых в настоящей работе ЗВ на 3 % – 10 %;

⁴ Об ограничении выбросов парниковых газов: Федер. закон от 2 июля 2021 г. № 296-ФЗ (принят Государственной Думой 1 июня 2021 г., одобрен Советом Федерации 23 июня 2021 г.). Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».

– анализ «чувствительности», выполненный в отношении сценария 1, показывает, что, если непрерывно увеличивать долю автобусов, работающих на природном газе, вплоть до 100 %, то и в предельном варианте, данная мера приведет к уменьшению массы выбросов загрязняющих веществ на 6 % – 20 %;

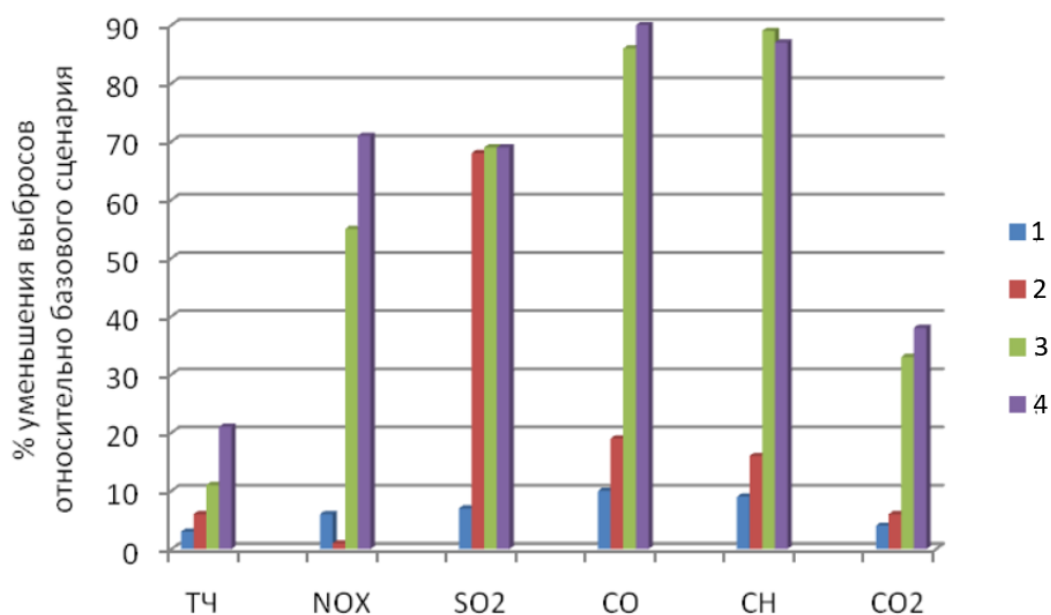


Рис. 5. Уменьшение выбросов ГТ ЗВ к 2030 г. легковыми автомобилями, автофургонами, автобусами, грузовыми автомобилями, трамваями, троллейбусами и поездами метрополитена при реализации четырех сценариев развития транспортной ситуации в Санкт-Петербурге

– внедрение экологически чистых топлив (сценарий 2) может обеспечить двукратное, по сравнению со сценарием 1, сокращение массы выбросов ТЧ, СО и СН, что соответствует уменьшению общей массы выбросов примерно на 20 %;

– значения массы выбросов NOx для базового сценария и для сценария 2 практически одинаковы. Указанный результат обусловлен предположением об увеличении выбросов от автотранспорта, работающего на бензине, при одновременном уменьшении выбросов от дизельных автомобилей;

– внедрение топлив 4-5 экологических классов (сценарий 2) позволяет сократить выбросы SO₂ примерно на две трети. Однако, несмотря на высокую опасность выброса SO₂, его доля от общей массы выбросов ЗВ транспортных средств составляет сравнительно малую часть;

– внедрение требований к токсичности ОГ автотранспорта 4-6 – экологических классов (сценарии 3 и 4) не отразится существенно на сокращении выбросов SO₂ в сравнении с сценарием 2;

– реализация сценария 3 может привести к значительному сокращению выбросов NOx, СО и СН. Это произойдет, главным образом, вследствие введения требований 4-5 – экологических классов, устанавливающих строгие ограничения относительно выбросов указанных веществ. Расчеты показывают, что сокращение выбросов NOx может составить порядка 60 %, СО и СН – 90 % – 95 %;

– уменьшение выбросов ТЧ в результате реализации сценария 3 может достигнуть около 10 %. Следует, однако, обратить внимание на то, что основной причиной этого служит большая масса выбросов, отнесенная в модели на долю транспортных средств, работающих на электроэнергии. Тем не менее для Санкт-Петербурга такое сокращение выбросов ТЧ от автомобилей станет вполне ощутимым, поскольку электростанции, на долю которых приходится значительная часть выбросов, расположены далеко за пределами густонаселенной части города;

– наибольшая разница между сценариями 3 и 4 заключается в выбросах ТЧ (на 20 %) и NO_x (на 80 %). Такое положение обусловлено влиянием внедрения норм требований 4-5 – экологических классов (регенерируемые фильтры и селективный катализ [2, 4, 9]);

– незначительное уменьшение выбросов CO₂ характерно для сценариев 1 и 2, а сценарии 3, 4 приведут уже к 40 % сокращения «главного» парникового газа. В целом автомобили, технические характеристики которых соответствуют требованиям 4-6 – экологических классов, имеют более низкие удельные показатели выбросов CO₂, чем транспортные средства по 1-му экологическому классу, присутствие которых пока обнаруживается в парке Санкт-Петербурга. Снижения выбросов CO₂ можно ожидать по причине наблюдаемого интереса пользователей к гибридным их конструкциям.

Ожидаемого в перспективе сокращения экологического ущерба по четырем вероятным сценариям организации транспортных процессов в Санкт-Петербурге к 2030 г. в сравнении можно достичь путем внедрения предусмотренных Администрацией мероприятий (рис. 6). Апробированный на модели города Санкт-Петербурга, новый информационный процесс мониторинга эколого-энергетической безопасности ГТ разработан на основе выявленных закономерных связей технического состояния ГТ с его экологическими свойствами, которые в эксплуатации предпочтительно оценивать по соблюдению в городе предельно допустимых концентраций (ПДК) ЗВ.

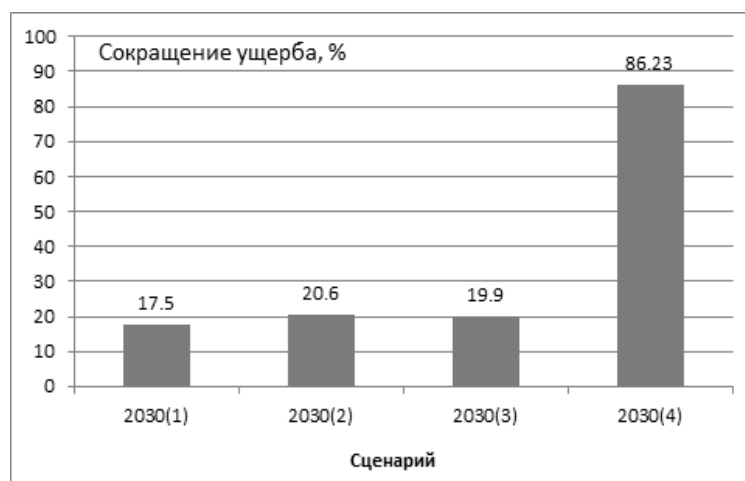


Рис. 6. Ожидаемое к расчетному 2030 г. сокращение ущерба по четырем сценариям, в сравнении

Соблюдения ПДК можно добиваться путем управления транспортными процессами через экономические «рычаги», например, «дифференциации налогов», основанной на готовности к ней горожан, в конечном итоге – не мириться с угрозами загрязнения воздушной среды, приводящей к смертности и заболеваемости, разрушению городской инфраструктуры, потери урожайности и продуктивности в сельском и лесном хозяйствах, а также, непосредственно связанной с этими явлениями, глобальными изменениями климата.

Заключение

Разработана методология прогнозирования ущерба от чрезвычайно-опасного загрязнения воздуха (ТЧ, NO_x, SO₂, CO, HС, CO₂, CH₄) городским транспортом в Санкт-Петербурге, которая дает возможность на оригинальной информационно-технологической платформе [1, 6, 8, 9, 10, 11, 12] производить оценки в натуральных и монетарных показателях негативного воздействия на население (через заболеваемость), объекты городской инфраструктуры (через коррозию металлоконструкций), агро-промышленные комплексы (через снижение урожайности и продуктивности животноводства), – как совокупного результата, одновременно, функционирующего ГТ таких видов, как: автотранспортные средства, трамваи, троллейбусы, поезда электричек и метрополитена.

Список источников

1. Ложкин В.Н. Сацук И.В. Научное обоснование методов снижения углеродного следа и достижения климатической нейтральности парка пожарных автомобилей как источника экологической нагрузки // Проблемы управления рисками в техносфере. 2025. № 4 (76). С. 227–238. DOI: 10.61260/1998-8990-2025-4-227-238
2. Life-cycle assessment to guide solutions for the triple planetary crisis / S. Hellweg [et al.] // Nature reviews earth: & environment: springernature. 2023. Vol. 4. Iss. 7. P. 471–486. DOI: 10.1038/s43017-023-00449-2
3. Abatzoglou J.T., Williams A.P., Barbero R. Global emergence of anthropogenic climate change in fire weather indices // Geophysical Research Letters. 2019. Vol. 46. P. 326–336. DOI: 10.1029/2018GL080959
4. Ложкина О.В., Мальчиков К.Б. Сравнительный анализ пробеговых выбросов автомобилей на различных видах топлива при дорожных заторах // Вестник гражданских инженеров. 2024. № 2 (103). С. 133–143. DOI: 10.23968/1999-5571-2024-21-2-133-143
5. Kaushik N., Das R.M. Investigation of NO_x and related secondary pollutants at Anand Vihar, one of the most polluted area of Delhi // URBAN CLIMATE, ELSEVIER. 2023. Vol. 52. DOI: 10.1016/j.uclim.2023.1017476
6. Ложкин В.Н. О влиянии физического состояния атмосферы на опасное загрязнение воздуха поллютантами транспорта и промышленности в Санкт-Петербурге // Транспорт РФ. 2025. № 5 (120). С. 68–72.
7. Применение интегрированного расчетно-экспериментального комплекса для разработки и доводки рабочих процессов дизеля с аккумуляторной топливной системой / М.Г. Шатров [и др.] // Двигателестроение. 2022. № 1 (287). С. 32–44.
8. Ложкина О.В., Мальчиков К.Б. Мониторинг и прогнозирование опасного загрязнения воздуха маломерными судами и автотранспортом // Вестник Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета. 2025. № 1 (80). С. 55–62.
9. Lozhkin V.N., Lozhkina O.V. Catalytic converter with storage device of exhaust gas heat for city bus // Transportation Research Procedia. 2017. Vol. 20. P. 412–417. DOI: 10.1016/j.trpro.2017.01.067.1
10. Study on Constitutive Model and Fracture Criterion of 7075 Aluminum Alloy at High Temperature / Z. Wang [et al.] // J. of Materi Eng and Perform. 2025. № 34. P. 11151–11161. DOI: 10.1007/s11665-024-09986-3
11. Ложкин В.Н., Ложкина О.В. Информационные процессы в управлении комплексной безопасностью транспорта: стратегическое планирование и моделирование: монография / под общ. ред. Б.В. Гавкалюка. СПб.: С.-Петерб. ун-т ГПС МЧС России, 2022. 164 с.
12. Природные ресурсы в новой экономической модели: монография / Ю.В. Зворыкина [и др.] / под ред. Ю.В. Зворыкиной. М.: МГРИ; ООО Издательский дом «Наука», 2024. 268 с. DOI: 10.18184/978-5-6050437-7-5.2024.268

References

1. Lozhkin V.N. Sacuk I.V. Nauchnoe obosnovanie metodov snizheniya uglerodnogo sleda i dostizheniya klimaticheskoy nejtral'nosti parka pozharnyh avtomobilej kak istochnika ekologicheskoy nagruzki // Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere. 2025. № 4 (76). S. 227–238. DOI: 10.61260/1998-8990-2025-4-227-238
2. Life-cycle assessment to guide solutions for the triple planetary crisis / S. Hellweg [et al.] // Nature reviews earth: & environment: springernature. 2023. Vol. 4. Iss. 7. P. 471–486. DOI: 10.1038/s43017-023-00449-2
3. Abatzoglou J.T., Williams A.P., Barbero R. Global emergence of anthropogenic climate change in fire weather indices // Geophysical Research Letters. 2019. Vol. 46. P. 326–336. DOI: 10.1029/2018GL080959

4. Lozhkina O.V., Mal'chikov K.B. Sravnitel'nyj analiz probegovyh vybrosov avtomobilej na razlichnyh vidah topliva pri dorozhnyh zatorah // Vestnik grazhdanskikh inzhenerov. 2024. № 2 (103). S. 133–143. DOI: 10.23968/1999–5571–2024–21–2–133–143
5. Kaushik N., Das R.M. Investigation of NO_x and related secondary pollutants at Anand Vihar, one of the most polluted area of Delhi // URBAN CLIMATE, ELSEVIER. 2023. Vol. 52. DOI: 10.1016/j.uclim.2023.1017476
6. Lozhkin V.N. O vliyanii fizicheskogo sostoyaniya atmosfery na opasnoe zagryaznenie vozduha pollyutantami transporta i promyshlennosti v Sankt-Peterburge // Transport RF. 2025. № 5 (120). S. 68–72.
7. Primenenie integrirovannogo raschetno-eksperimental'nogo kompleksa dlya razrabotki i dovodki rabochih processov dizelya s akkumulyatornoj toplivnoj sistemoy / M.G. Shatrov [i dr.] // Dvigatelsestroenie. 2022. № 1 (287). S. 32–44.
8. Lozhkina O.V., Mal'chikov K.B. Monitoring i prognozirovaniye opasnogo zagryazneniya vozduha malomernymi sudami i avtotransportom // Vestnik Moskovskogo avtomobil'no-dorozhnogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. 2025. № 1 (80). S. 55–62.
9. Lozhkin V.N., Lozhkina O.V. Catalytic converter with storage device of exhaust gas heat for city bus // Transportation Research Procedia. 2017. Vol. 20. P. 412–417. DOI: 10.1016/j.trpro.2017.01.067.1
10. Study on Constitutive Model and Fracture Criterion of 7075 Aluminum Alloy at High Temperature / Z. Wang [et al.] // J. of Materi Eng and Perform. 2025. № 34. P. 11151–11161. DOI: 10.1007/s11665-024-09986-3
11. Lozhkin V.N., Lozhkina O.V. Informacionnye processy v upravlenii kompleksnoj bezopasnost'yu transporta: strategicheskoe planirovaniye i modelirovaniye: monografiya / pod obshch. red. B.V. Gavkalyuka. SPb.: S.-Peterb. un-t GPS MCHS Rossii, 2022. 164 s.
12. Prirodnye resursy v novoy ekonomicheskoy modeli: monografiya / Yu.V. Zvorykina [i dr.] / pod red. Yu.V. Zvorykinoy. M.: MGRI; OOO Izdatel'skij dom «Nauka», 2024. 268 s. DOI: 10.18184/978-5-6050437-7-5.2024.268

Информация о статье:

Статья поступила в редакцию: 21.04.2026; одобрена после рецензирования: 05.05.2026;
принята к публикации: 26.05.2026

The information about article:

The article was submitted to the editorial office: 21.04.2026; approved after review: 05.05.2026;
accepted for publication: 26.05.2026

Информация об авторах:

Ложкин Владимир Николаевич, профессор кафедры пожарной, аварийно-спасательной техники и автомобильного хозяйства Санкт-Петербургского университета ГПС МЧС России (196105, Санкт-Петербург, Московский пр., д. 149), доктор технических наук, профессор, e-mail: vnlojkin@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6381-0519>, SPIN-код: 9496-2451

Information about the authors:

Lozhkin Vladimir N., professor of the department of fire and emergency rescue equipment and automotive facilities of Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia (196105, Saint-Petersburg, Moskovsky ave., 149), doctor of technical sciences, professor, e-mail: vnlojkin@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6381-0519>, SPIN: 9496-2451