

Научная статья

УДК: 628.9:629.3:504.3; DOI: 10.61260/1998-8990-2025-4-227-238

## НАУЧНОЕ ОБОСНОВАНИЕ МЕТОДОВ СНИЖЕНИЯ УГЛЕРОДНОГО СЛЕДА И ДОСТИЖЕНИЯ КЛИМАТИЧЕСКОЙ НЕЙТРАЛЬНОСТИ ПАРКА ПОЖАРНЫХ АВТОМОБИЛЕЙ КАК ИСТОЧНИКА ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ НАГРУЗКИ

✉ Ложкин Владимир Николаевич.

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

Сацук Иван Владимирович.

Сибирская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, г. Железногорск, Россия

✉ [vnlojkin@yandex.ru](mailto:vnlojkin@yandex.ru)

*Аннотация.* Исследование направлено на научное обоснование методов снижения углеродного следа и достижения климатической нейтральности парка пожарных автомобилей как источника значительной экологической нагрузки на примере Красноярского края. В работе применен комплекс методов, включая статистический анализ структуры парка, экспериментальные измерения дымности отработавших газов и оценку климатического воздействия с учетом потенциала глобального потепления короткоживущих климатических форсеров. Установлено, что парк пожарных автомобилей Красноярского края характеризуется значительной долей (43 %) устаревшей техники экологических классов Евро-0 и Евро-1, формирующей базовую экологическую нагрузку. Впервые выявлена и статистически обоснована регрессионная зависимость дымности отработавших газов от общего пробега ( $R^2 = 0,74$ ), положенная в основу метода предиктивного управления выбросами. Количественно оценен совокупный годовой углеродный след от парка устаревших дизельных пожарных автомобилей, который составляет 7 734 т  $\text{CO}_2$ -эквивалента. Ключевым выводом является то, что вклад короткоживущих климатических форсеров (сажи и  $\text{NO}_x$ ) более чем в 2,5 раза превышает прямое воздействие  $\text{CO}_2$ . Научная новизна заключается в разработке комплексной методики, интегрирующей операционно-технические параметры эксплуатации пожарных автомобилей с оценкой их полного климатического воздействия, что ранее не применялось для спецтехники МЧС России. Практическая значимость состоит в создании инструментария для обоснования управленческих решений по экологической трансформации парка, включая приоритетное обновление техники и оптимизацию технического обслуживания для снижения углеродного следа.

*Ключевые слова:* климатическая нейтральность, углеродный след, экологическая безопасность, пожарные автомобили, сажа, потенциал глобального потепления, управление эмиссиями

**Для цитирования:** 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.

Scientific article

**SCIENTIFIC JUSTIFICATION OF METHODS FOR REDUCING THE CARBON FOOTPRINT AND ACHIEVING CLIMATE NEUTRALITY OF A FIRE ENGINE FLEET AS A SOURCE OF ENVIRONMENTAL IMPACT**

✉ Lozhkin Vladimir N.

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

Satsuk Ivan V.

Siberian fire and rescue academy of EMERCOM of Russia, Zheleznogorsk, Russia

✉ [vnlojkin@yandex.ru](mailto:vnlojkin@yandex.ru)

**Abstract.** The study aims to provide a scientific justification for methods to reduce the carbon footprint and achieve climate neutrality of a fire engine fleet as a significant source of environmental impact, using the Krasnoyarsk Territory as a case study. A set of methods was applied, including statistical analysis of the fleet structure, experimental measurements of exhaust smoke opacity, and assessment of climate impact considering the global warming potential of short-lived climate forcers. It was found that the fire engine fleet of the Krasnoyarsk Territory is characterized by a significant proportion (43 %) of outdated Euro-0 and Euro-1 class vehicles, which form the baseline environmental load. For the first time, a regression dependence of exhaust smoke opacity on the total mileage ( $R^2 = 0,74$ ) has been identified and statistically substantiated, forming the basis for a predictive emissions management method. The total annual carbon footprint from the fleet of outdated diesel fire engines was quantitatively assessed at 7,734 tons of CO<sub>2</sub>-equivalent. A key finding is that the contribution of short-lived climate forcers (soot and NO<sub>x</sub>) exceeds the direct impact of CO<sub>2</sub> by more than 2.5 times. The scientific novelty lies in the development of a comprehensive methodology that integrates operational and technical parameters of fire engine use with an assessment of their full climate impact, which has not previously been applied to EMERCOM special equipment. The practical significance consists in creating a toolkit to support management decisions on the ecological transformation of the fleet, including priority vehicle renewal and optimization of maintenance to reduce the carbon footprint.

**Keywords:** climate neutrality, carbon footprint, environmental safety, fire engines, soot, global warming potential, emissions management

**For citation:** Lozhkin V.N., Satsuk I.V. Scientific justification of methods for reducing the carbon footprint and achieving climate neutrality of a fire engine fleet as a source of environmental impact // Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere = Problems of risk management in the technosphere. 2025. № 4 (76). P. 227–238. DOI: 10.61260/1998-8990-2025-4-227-238.

**Введение. Состояние проблемы**

Достижение углеродной и климатической нейтральности потенциально опасных техногенных объектов требует разработки специализированных научно обоснованных подходов, ориентированных на комплексную оценку всех видов воздействия на окружающую среду [1, 2].

По оценкам Межправительственной группы экспертов по изменению климата, глобальный транспорт стал четвертым источником выбросов парниковых газов в 2019 г. после энергетического комплекса (34 %, 20 ГтCO<sub>2</sub>-экв), промышленности (24 %, 14 ГтCO<sub>2</sub>-экв) и сельского хозяйства, лесного хозяйства и предприятий землепользования (22 % (13 ГтCO<sub>2</sub>-экв), доля выбросов парниковых газов (ПГ) от этого вида антропогенной деятельности составляет около 15 % [3].

Пожарные автомобили (ПА), являясь неотъемлемой частью системы обеспечения безопасности населенных пунктов, сами выступают значительным источником экологической

нагрузки и формирования углеродного следа ввиду эксплуатации их силовых установок. Особенности служебной деятельности – движение в режиме следования на пожар и длительная работа двигателя на стационарных режимах для привода насосных агрегатов – приводят к повышенному расходу топлива и, как следствие, к росту объема выбросов загрязняющих веществ и ПГ [1, 4]. В условиях глобальной климатической повестки и ужесточения экологических нормативов вопрос точной оценки и целенаправленного снижения выбросов от специальной техники, в том числе пожарной, приобретает особую актуальность [5, 6].

В последние годы в научной литературе активно обсуждаются методы оценки выбросов загрязняющих веществ и ПГ от автотранспорта [7–14].

В статье [7] описаны результаты исследования концентрационного состава отработавших газов легковых и легких коммерческих автотранспортных средств (АТС) при движении в условиях реальной эксплуатации по стандартным городским ездовым циклам, в статье [8] приводится сравнительная оценка пробеговых выбросов АТС с разными типами двигателей в условиях интенсивного движения и дорожных заторов, а в статье [9] – результаты расчетного прогнозирования загрязнения воздуха транспортными потоками в историческом центре Санкт-Петербурга.

В статьях [11, 13, 14] описан комплексный методический подход для инвентаризации, ретроспективной, мониторинговой и прогнозной оценки выбросов ПГ от дорожного и внедорожного транспорта.

Однако специфика эксплуатации ПА, заключающаяся в нестандартных нагрузочных режимах и моральном устаревании парка при относительно небольших пробегах, формирует уникальные проблемы, требующие целенаправленного изучения именно в экологическом ключе. В частности, недостаточно исследованными остаются статистические закономерности изменения ключевых экологических показателей, таких как дымность отработавших газов (ОГ), в зависимости от наработки современных ПА, и их прямая связь с объемом формируемых выбросов и углеродным следом на региональном уровне.

Особую остроту эта проблема приобретает в контексте таких промышленных регионов, как Красноярский край. Согласно данным исследования [15] более 60 % парка основных ПА края старше 15 лет и эксплуатируется с превышением нормативных сроков, при этом значительную часть составляют автомобили с двигателями экологических классов Евро-0 и Евро-1, не оснащенные современными системами нейтрализации ОГ. Это не только повышает пожарную опасность самих автомобилей при отказах систем нейтрализации [16], но и вносит существенный вклад в загрязнение атмосферного воздуха и формирование значительного углеродного следа от деятельности аварийно-спасательных служб, что до сих пор не получало адекватной количественной оценки.

Сложившееся противоречие между необходимостью поддержания постоянной боевой готовности парка ПА, что зачастую приводит к эксплуатации физически и морально устаревшей техники, и ужесточающимися экологическими требованиями и необходимостью снижения углеродного следа определяет актуальность настоящего исследования.

Целью исследования является научное обоснование принципов и разработка методов достижения углеродной и климатической нейтральности парка пожарных автомобилей на основе комплексной оценки углеродного следа и управления выбросами на основе данных диагностики.

Для достижения поставленной цели был применен комплекс методов, образующих единую методику достижения климатической нейтральности, и решены следующие задачи:

- провести анализ структуры парка и экологических характеристик пожарных автомобилей Красноярского края с распределением по экологическим классам и пробегу;
- выявить на основе экспериментальных данных статистические закономерности распределения показателя дымности ОГ для современных ПА и установить его корреляционную зависимость от общего пробега как ключевого фактора, влияющего на объем экологической нагрузки;

– количественно оценить вклад парка ПА различного технического состояния в объем вредных выбросов и углеродный след на территории Красноярского края с учетом потенциала глобального потепления короткоживущих климатических форсеров.

Решение этих задач позволит перейти от констатации экологической проблемы к управлению ею на основе данных инструментального контроля и диагностирования, что является ключевым фактором в снижении углеродного следа от эксплуатации специальной техники в регионе.

### Методы исследования

Объектом исследования выступил парк основных и специальных ПА пожарно-спасательных гарнизонов Красноярского края. Для формирования репрезентативной выборки, обеспечивающей достоверность оценки экологической нагрузки, был проведен анализ 472 ед. техники.

Методика исследования представляла собой комплексный подход, направленный на оценку углеродного следа и включающий три основных этапа: анализ структуры парка, экспериментальные исследования для установления зависимостей ключевых экологических параметров от наработки и расчет валовых выбросов с оценкой климатического воздействия.

На первом этапе был проведен статистический анализ возрастной структуры и распределения парка ПА по экологическим классам. Это позволило идентифицировать группы техники, вносящие наибольший вклад в экологическую нагрузку. Методика анализа базировалась на подходах, изложенных в работе [15], и была адаптирована для целей оценки углеродного следа путем введения параметра «экологический класс» как ключевого фактора, определяющего удельные выбросы.

Для установления количественной связи между эксплуатационными параметрами ПА и уровнем загрязнения атмосферы были проведены натурные эксперименты по измерению дымности ОГ.

Дымность была выбрана в качестве интегрального показателя, коррелирующего с выбросами твердых частиц (сажи), являющихся короткоживущим климатическим форсером [17].

Объекты измерений: Основное внимание уделено современным дизельным ПА 4-го и 5-го экологических классов (АЦ-6,0-70 на шасси УРАЛ-5557, АЦ-3,2-40/4 на шасси КамАЗ-43265), составляющих перспективную часть парка.

Измерение дымности ОГ проводилось на режиме свободного ускорения с использованием сертифицированного измерителя дымности «МЕТА-01 МП 0,1» в условиях испытательных боксов ООО «Краевой УралАвтоЦентр» в соответствии с методикой ГОСТ 33997–2016 «Колесные транспортные средства. Требования к безопасности в эксплуатации и методы проверки».

Для контроля режимов работы двигателя и исключения влияния сторонних неисправностей использовалось программное обеспечение EDCDiags, подключаемое к электронному блоку управления через диагностический разъем OBD2.

Для каждого ПА фиксировался общий пробег, включающий пробег по одометру, и приведенный пробег, эквивалентный наработке двигателя на стационарных режимах.

Для прогнозирования экологической нагрузки в зависимости от наработки техники был применен регрессионный анализ. Методом наименьших квадратов была построена линейная модель зависимости дымности ОГ от общего пробега. Достоверность модели проверялась путем расчета коэффициента детерминации ( $R^2$ ).

На основе установленной зависимости и данных о структуре парка была разработана комплексная методика расчета валовых выбросов. Расчет проводился для ключевых загрязняющих веществ: диоксида углерода ( $\text{CO}_2$ ), оксидов азота ( $\text{NO}_x$ ) и твердых частиц (PM). Удельные выбросы PM и  $\text{NO}_x$  принимались на основе данных заводов-изготовителей для соответствующих экологических классов. Расчет выбросов  $\text{CO}_2$  выполнялся на основе среднего удельного расхода топлива и стандартного коэффициента эмиссии [18].

Оценка углеродного следа (в  $\text{CO}_2$ -эквиваленте) проводилась с учетом прямых выбросов  $\text{CO}_2$  и косвенного влияния короткоживущих климатических загрязнителей. Для пересчета использовались актуальные значения потенциала глобального потепления (ПГП): для сажи (черного углерода) – 3 000 на 20-летнем горизонте [17], для  $\text{NO}_x$  – 265 на 100-летнем горизонте [19].

Статистическая обработка данных, проверка распределений по критерию Колмогорова (уровень значимости  $\alpha = 0,05$ ) и визуализация результатов проводились с использованием специализированных пакетов статистического анализа.

### Результаты исследования и их обсуждение

Проведенное исследование позволило получить количественные оценки и выявить закономерности, характеризующие вклад ПА в экологическую нагрузку и углеродный след Красноярского края.

Анализ автопарка пожарно-спасательных гарнизонов Красноярского края показал его значительную неоднородность и возрастную диспропорцию. Из 472 ед. основных и специальных ПА более 60 % техники эксплуатируется свыше 15 лет, что превышает нормативные сроки службы, к ним относятся 82 ед. дизельных ПА и 204 бензиновых, распределение по экологическим классам остальных представлено на рис. 1.

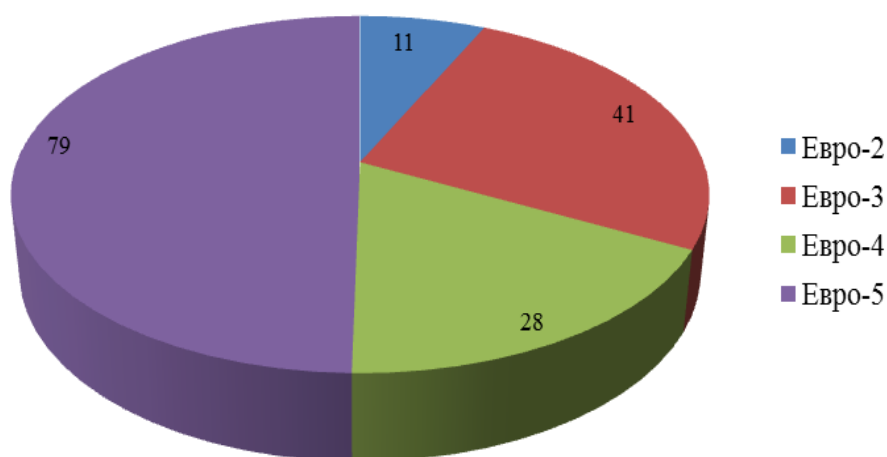


Рис. 1. Распределение парка основных ПА Красноярского края по экологическим классам

Полученное распределение свидетельствует о наличии двух ключевых проблем с точки зрения экологической безопасности. Во-первых, техника устаревших стандартов, не оснащенная современными системами нейтрализации, формирует базовую экологическую нагрузку, являясь основным источником выбросов твердых частиц (сажи) и оксидов азота. Во-вторых, плановое обновление парка, приводящее к увеличению доли автомобилей стандартов Евро-4 и Евро-5 (37 %), хотя и снижает прямые выбросы, создает риски, связанные с повышенной пожарной опасностью усложненных систем нейтрализации [16].

Экспериментальные исследования дымности ОГ на режиме свободного ускорения для 41 современного дизельного ПА (Евро-4, Евро-5) выявили существенное улучшение экологических показателей по сравнению с данными, полученными в 2005 г. для парка Ленинградской обл. (табл. 1).

Таблица 1

**Сравнительные статистические характеристики дымности ОГ парков ПА**

Статистическая характеристика	ПА Красноярского края (Евро 4-5)	ПА Ленинградской обл. (Евро 0-2)
Среднее арифметическое, $\text{м}^{-1}$	0,353	4,36
Среднее квадратичное отклонение, $\text{м}^{-1}$	0,43	2,58
Коэффициент вариации по среднему квадратичному отклонению, %	23,2	59,2

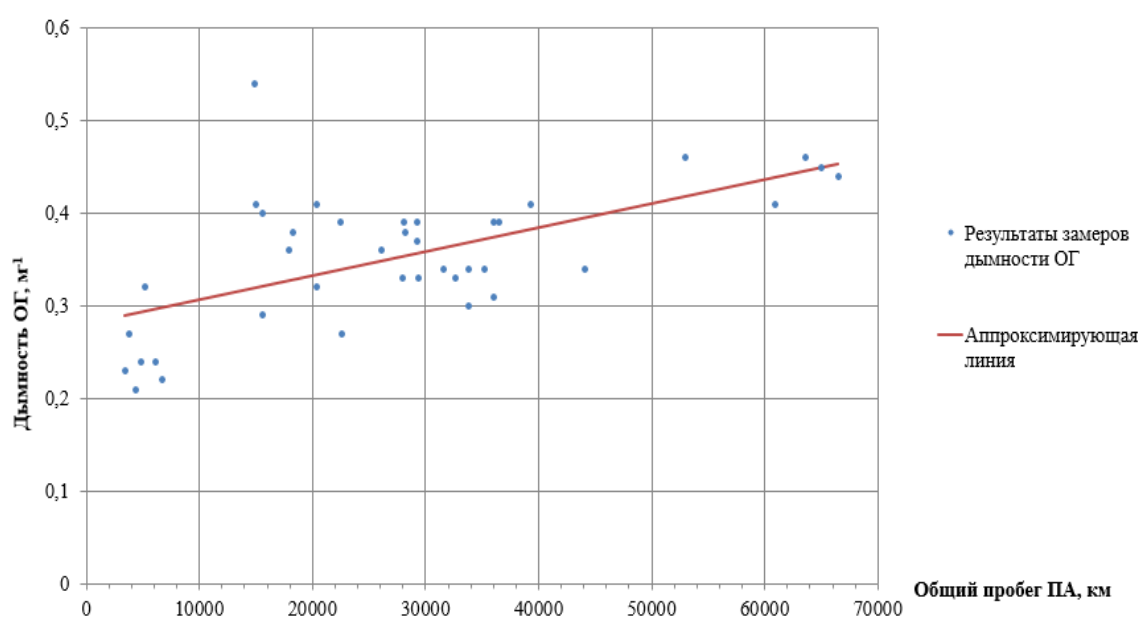
Как видно из таблицы, средний уровень дымности современных ПА снизился более чем в 12 раз, а низкий коэффициент вариации для современного парка свидетельствует не только о стабильности технического состояния, но и о большей предсказуемости и управляемости уровня выбросов, что является важным фактором для экологического менеджмента.

Математическая обработка подтвердила, что распределение дымности ОГ для современных ПА подчиняется нормальному закону ( $p\text{-value} = 0,377$ ). Это позволило установить типичный для исправных автомобилей экологический диапазон дымности – от 0,11 до 0,6  $\text{м}^{-1}$ . Значения, выходящие за эти пределы, могут рассматриваться как индикатор сверхнормативных выбросов загрязняющих веществ.

Ключевым результатом, имеющим непосредственное значение для управления выбросами, стало установление регрессионной зависимости между дымностью ОГ ( $k$ ,  $\text{м}^{-1}$ ) и общим пробегом ПА ( $S_{\text{общ}}$ , км). На основе полученных данных разработана регрессионная модель:

$$k = 2,58 \times 10^{-6} \times S_{\text{общ}} + 0,281. \quad (1)$$

Данная зависимость, представленная на рис. 2, имеет высокий коэффициент детерминации  $R^2 = 0,74$ , что указывает на существенную связь между параметрами.

**Рис. 2. График зависимости дымности ОГ от общего пробега ПА**

Обсуждение полученной закономерности позволяет сделать вывод, что рост дымности с увеличением пробега является объективным фактором, приводящим к кумулятивному увеличению экологической нагрузки на протяжении жизненного цикла техники. Данная модель является основой для предиктивного управления углеродным следом, так как позволяет прогнозировать объем выбросов сажи на основе данных о наработке парка.

Для наглядной оценки экологического воздействия была проведена количественная оценка вклада наиболее загрязняющей части парка – 82 дизельных ПА стандартов Евро-0 и Евро-1 Красноярского края с общей наработкой 750 моточасов для дизельных ПА [15].

Оценка проводилась для ключевых загрязняющих веществ: твердые частицы (сажа, РМ),  $\text{NO}_x$  и  $\text{CO}_2$ . Удельные выбросы РМ и  $\text{NO}_x$  принимались на основе документации заводов-изготовителей для транспортных средств соответствующих экологических классов.

Валовые выбросы (М)  $i$ -го вещества определялись по формуле:

$$N_i = N_{\text{ПА}} \times T \times g_i,$$

где  $N_{\text{ПА}}$  – количество ПА, ед.;  $T$  – годовая наработка ПА, час;  $g_i$  – удельный выброс  $i$ -го вещества, г/час.

Расчет вклада в углеродный след ( $\text{CO}_2$ -эквивалент) проводился с учетом прямых выбросов  $\text{CO}_2$  и косвенного влияния короткоживущих климатических загрязнителей, обладающих значительным потенциалом глобального потепления (ПГП).

Расчет для диоксида углерода ( $\text{CO}_2$ ): Удельный выброс  $\text{CO}_2$  рассчитан на основе среднего удельного расхода топлива для дизельных ПА, составляющего 15 кг/час [16], и коэффициента эмиссии  $\text{CO}_2$  при сгорании дизельного топлива, равного 3,15 кг  $\text{CO}_2$  на 1 кг топлива [18].

Удельный выброс РМ принят на уровне 2,5 г/час для дизельных двигателей стандартов Евро-0/Евро-1. Для пересчета в  $\text{CO}_2$ -эквивалент использован ПГП для черного углерода, являющегося ключевым компонентом сажи в ОГ дизельных двигателей. На 20-летнем временном горизонте ПГП сажи составляет 3 000 [17]. Это означает, что выброс 1 т сажи по своему влиянию на климат эквивалентен выбросу 3 000 т  $\text{CO}_2$ . Данный высокий потенциал обусловлен сильным поглощением солнечного излучения сажевыми частицами и их способностью ускорять таяние льда и снега при осаждении, снижая их альбедо.

Потенциал глобального потепления для  $\text{NO}_x$ , учитывающий его комплексную роль в химических процессах атмосферы (вклад в образование тропосферного озона, являющегося ПГ, и косвенное влияние на продолжительность жизни метана), принят равным 265 относительно  $\text{CO}_2$  на 100-летнем горизонте [19].

Результаты расчета годового объема выбросов для парка из 82 дизельных ПА устаревших стандартов представлены в табл. 2.

Таблица 2

**Оценочный годовой объем выбросов от парка дизельных ПА (Евро-0, Евро-1)  
Красноярского края**

Загрязняющее вещество	Удельный выброс (г/час)	Годовой объем выбросов, т	Вклад в углеродный след (в $\text{CO}_2$ -эквиваленте), т
Твердые частицы (РМ)	2,5	0,154	4 620
Оксиды азота ( $\text{NO}_x$ )	12,0	0,738	196
Диоксид углерода ( $\text{CO}_2$ )	47 400	2 918	2 918
ИТОГО $\text{CO}_2$ -эквивалент			7 734

Анализ данных табл. 2 позволяет сделать принципиально важный вывод: совокупный вклад парка устаревших ПА в углеродный след Красноярского края составляет 7 734 т CO<sub>2</sub>-эквивалента в год. При этом, вопреки устоявшимся представлениям, доминирующий вклад в климатическое воздействие вносят не прямые выбросы CO<sub>2</sub> (2 918 т), а короткоживущие климатические форсеры – сажа (PM) и NO<sub>x</sub>. Их совокупный вклад более чем в 2,5 раза превышает прямое воздействие CO<sub>2</sub>.

Полученные 0,154 т сажи в год, являясь ключевым компонентом PM<sub>2,5</sub>, оказывают значительное влияние не только на климат (вклад 4 620 т CO<sub>2</sub>-экв.), но и на здоровье населения, так как сажа признана канцерогеном. Выявленная зависимость (1) напрямую связывает контролируемый параметр – дымность – с объемом выбросов этого опасного загрязнителя.

Сопоставление с данными других исследований [2, 10] подтверждает, что традиционные методы оценки, фокусирующиеся исключительно на CO<sub>2</sub>, могут существенно (в данном случае, в 2,65 раза) занижать реальное климатическое воздействие от эксплуатации автотранспортных средств, особенно устаревших типов.

### Заключение

Проведенное комплексное исследование позволило перейти от качественных оценок к количественному анализу экологического воздействия парка ПА и разработать научно обоснованные подходы к управлению его углеродным следом.

Установлено, что структурная неоднородность парка ПА Красноярского края является ключевым фактором, определяющим его экологическую нагрузку. Техника устаревших экологических классов (Евро-0, Евро-1), составляющая 43 % парка, формирует базовый уровень выбросов, оцениваемый в 7 734 т CO<sub>2</sub>-эквивалента ежегодно. Принципиально важным является вывод о том, что совокупный вклад короткоживущих климатических форсеров (сажи и NO<sub>x</sub>) более чем в 2,5 раза превышает прямое воздействие CO<sub>2</sub>.

Научная новизна работы заключается в разработке интегральной методики оценки углеродного следа спецтехники, которая впервые связывает операционный параметр (пробег) с ключевым диагностическим показателем (дымностью ОГ) и через него – с объемом выбросов и их итоговым климатическим воздействием с учетом потенциала глобального потепления. Данный подход позволяет перейти от учета только прямых выбросов CO<sub>2</sub> к комплексной оценке климатического воздействия, что является значительным шагом вперед по сравнению с традиционными методами.

Практическая значимость результатов определяется созданием инструментария для обоснования управленческих решений. Разработанная регрессионная модель позволяет реализовать принципы предиктивного управления, заблаговременно идентифицируя технику, которая вносит максимальный вклад в углеродный след, и планировать корректирующие мероприятия.

Таким образом, работа вносит существенный вклад в решение задачи декарбонизации транспортного комплекса, предоставляя для одной из наиболее консервативных его частей – парка специальной техники – научно обоснованный механизм оценки воздействия и управления им на пути к климатической нейтральности.

### Список источников

1. Галимова К.Р. Экологическая безопасность в эксплуатации пожарной и аварийно-спасательной техники // Тенденции развития науки и образования. 2024. № 108-10. С. 27–29. DOI 10.18411/trnio-04-2024-530. EDN QQCEIE.

2. Explainable Machine Learning Prediction of Vehicle CO<sub>2</sub> Emissions for Sustainable Energy and Transport / D. Yuan [et al.] // Energies. 2025. Vol. 18. № 20. P. 5408. DOI: 10.3390/en18205408.



3. Ложкина О.В. Мониторинг и прогнозирование опасного техногенного загрязнения атмосферы парниковыми газами транспорта / под общ. ред. Б.В. Гавкалюка. СПб.: С.-Петербург. уни-т ГПС МЧС России, 2023. 166 с.
4. Гавкалюк Б.В., Ложкин В.Н. Повышение эффективности агрегатов мобильных средств доставки специализированного оборудования и личного состава для тушения пожаров // Проблемы управления рисками в техносфере. 2024. № 1 (69). С. 107–113. DOI: 10.61260/1998-8990-2024-1-107-113.
5. Measuring NOx during periodic technical inspection of diesel vehicles / Ja. Franzetti [et al.] // Environmental Sciences Europe. 2024. Vol. 36. № 1. P. 175. DOI: 10.1186/s12302-024-01002-8.
6. Pandey A., Pandey G., Mishra R.K. An in situ exploratory analysis of diesel cars' emission: way forward on policy evaluation // Environmental Science and Pollution Research. 2022. Vol. 29. P. 84434-84450. DOI: 10.1007/s11356-022-21719-4.
7. Ложкина О.В., Мальчиков К.Б. Бортовой мониторинг выбросов опасных (загрязняющих) веществ легковым и легким коммерческим автотранспортом // Проблемы управления рисками в техносфере. 2024. № 2 (70). С. 193–206. DOI: 10.61260/1998-8990-2024-2-193-206.
8. 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.
9. Мальчиков К.Б., Ложкина О.В. Мониторинг и прогнозирование опасного загрязнения воздуха маломерными судами и автотранспортом // Вестник Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ). 2025. № 1 (80). С. 55–62.
10. Гавкалюк Б.В., Ложкин В.Н., Смирнов А.С. Теория и практика обеспечения безопасности применения в условиях чрезвычайных ситуаций силовых установок пожарных автомобилей 4-5 поколений // Проблемы управления рисками в техносфере. 2023. № 2 (66). С. 8–15.
11. Усовершенствованная методика расчетного мониторинга выбросов парниковых газов от деятельности автомобильного и внедорожного транспорта в Российской Федерации / Ю.В. Трофименко [и др.] // Научный вестник Московского государственного технического университета гражданской авиации. 2025. Т. 28. № 1. С. 78–96. DOI: 10.26467/2079-0619-2025-28-1-78-96.
12. Трофименко Ю.В., Филиппова Р.В., Феньков И.А. Зарубежный опыт внедрения электробусного транспорта в мегаполисах: переход на низкоуглеродные транспортные средства // Мир транспорта и технологических машин. 2025. № 2-1 (89). С. 87–92. DOI: 10.33979/2073-7432-2025-2-1(89)-87-92.
13. Деянов Д.А., Трофименко Ю.В. Методика оценки энергопотребления и выбросов парниковых газов транспортным потоком на улично-дорожной сети // Вестник Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ). 2024. № 3 (78). С. 68–77. EDN: KCNOFL.
14. Актуализация оценок выбросов парниковых газов от автомобильного транспорта в национальном кадастре за 2010-2021 гг. / В.М. Лытов [и др.] // Экологический мониторинг и моделирование экосистем. 2024. Т. 35. № 1-2. С. 101–123. DOI: 10.21513/0207-2564-2024-1-2-101-123.
15. Сацук И.В. Закономерности распределения и технического состояния эксплуатируемых пожарных автомобилей по показателям конструктивной безопасности силовых установок // Сибирский пожарно-спасательный вестник. 2022. № 2 (25). С. 31–38. DOI: 10.34987/vestnik.sibpsa.2022.27.97.004.
16. Дейнека Е.Г., Ложкина О.В. Анализ и обобщение статистических и исследовательских данных по пожарам автотранспортных средств, обусловленным

пожароопасным режимом работы термokatалитических систем // Проблемы управления рисками в техносфере. 2024. № 3 (71). С. 107–122. DOI 10.61260/1998-8990-2024-3-107-122.

17. Советбеков Б., Токушев И.С., Нурматов Д.Б. Управление эмиссией загрязняющих веществ автотранспорта // Известия ВУЗов Кыргызстана. 2024. № 6. С. 19–22. DOI: 10.26104/IVK.2024.11.54.005.

18. Bounding the role of black carbon in the climate system: A scientific assessment / T.C. Bond [et al.] // Journal of Geophysical Research: Atmospheres. 2013. Vol. 118. P. 5380–5552. DOI: 10.1002/jgrd.50171.

19. Реуцкий А.С., Шурпак В.К., Толмачев С.А. Анализ положений руководящих принципов ИМО по оценке интенсивности выбросов парниковых газов на протяжении жизненного цикла для всех видов судового топлива // Научно-технический сборник Российского морского регистра судоходства. 2025. № 79. С. 14–25.

## References

1. Galimova K.R. Ekologicheskaya bezopasnost' v ekspluatatsii pozharnej i avarijno-spasatel'noj tekhniki // Tendencii razvitiya nauki i obrazovaniya. 2024. № 108-10. S. 27–29. DOI 10.18411/trnio-04-2024-530. EDN QQCEIE.

2. Explainable Machine Learning Prediction of Vehicle CO<sub>2</sub> Emissions for Sustainable Energy and Transport / D. Yuan [et al.] // Energies. 2025. Vol. 18. № 20. P. 5408. DOI: 10.3390/en18205408.

3. Lozhkina O.V. Monitoring i prognozirovaniye opasnogo tekhnogenogo zagryazneniya atmosfery parnikovymi gazami transporta / pod obshch. red. B.V. Gavkalyuka. SPb.: S.-Peterb. uni-t GPS MCHS Rossii, 2023. 166 s.

4. Gavkalyuk B.V., Lozhkin V.N. Povyshenie effektivnosti agregatov mobil'nyh sredstv dostavki specializirovannogo oborudovaniya i lichnogo sostava dlya tusheniya pozharov // Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere. 2024. № 1 (69). S. 107–113. DOI: 10.61260/1998-8990-2024-1-107-113.

5. Measuring NO<sub>x</sub> during periodic technical inspection of diesel vehicles / Ja. Franzetti [et al.] // Environmental Sciences Europe. 2024. Vol. 36. № 1. P. 175. DOI: 10.1186/s12302-024-01002-8.

6. Pandey A., Pandey G., Mishra R.K. An in situ exploratory analysis of diesel cars' emission: way forward on policy evaluation // Environmental Science and Pollution Research. 2022. Vol. 29. P. 84434–84450. DOI: 10.1007/s11356-022-21719-4.

7. Lozhkina O.V., Mal'chikov K.B. Bortovoj monitoring vybrosov opasnyh (zagryaznyayushchih) veshchestv legkovym i legkim kommercheskim avtotransportom // Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere. 2024. № 2 (70). S. 193–206. DOI: 10.61260/1998-8990-2024-2-193-206.

8. Lozhkina O.V., Mal'chikov K.B. Cravnitel'nyj analiz probegovykh vybrosov avtomobilej na razlichnykh vidah topliva pri dorozhnykh zatorah // Vestnik grazhdanskih inzhenerov. 2024. № 2 (103). S. 133–143. DOI: 10.23968/1999-5571-2024-21-2-133-143.

9. Mal'chikov K.B., Lozhkina O.V. Monitoring i prognozirovaniye opasnogo zagryazneniya vozduha malomernymi sudami i avtotransportom // Vestnik Moskovskogo avtomobil'no-dorozhnogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta (MADI). 2025. № 1 (80). S. 55–62.

10. Gavkalyuk B.V., Lozhkin V.N., Smirnov A.S. Teoriya i praktika obespecheniya bezopasnosti primeneniya v usloviyah chrezvychajnykh situacij silovykh ustanovok pozharnykh avtomobilej 4-5 pokolenij // Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere. 2023. № 2 (66). S. 8–15.

11. Uovershenstvovannaya metodika raschetnogo monitoringa vybrosov parnikovyh gazov ot deyatel'nosti avtomobil'nogo i vnedorozhnogo transporta v Rossijskoj Federacii / Yu.V. Trofimenko [i dr.] // Nauchnyj vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta grazhdanskoj aviatsii. 2025. T. 28. № 1. S. 78–96. DOI: 10.26467/2079-0619-2025-28-1-78-96.

12. Trofimenko Yu.V., Filippova R.V., Fen'kov I.A. Zarubezhnyj opyt vnedreniya elektrobussnogo transporta v megapolisah: perekhod na nizkouglerodnye transportnye sredstva // *Mir transporta i tekhnologicheskikh mashin*. 2025. № 2-1 (89). S. 87–92. DOI: 10.33979/2073-7432-2025-2-1(89)-87-92.
13. Deyanov D.A., Trofimenko Yu.V. Metodika ocenki energopotrebleniya i vybrosov parnikovyh gazov transportnym potokom na ulichno-dorozhnoj seti // *Vestnik Moskovskogo avtomobil'no-dorozhnogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta (MADI)*. 2024. № 3 (78). S. 68–77. EDN: KCNOFL.
14. Aktualizaciya ocenok vybrosov parnikovyh gazov ot avtomobil'nogo transporta v nacional'nom kadastre za 2010-2021 gg. / V.M. Lytov [i dr.] // *Ekologicheskij monitoring i modelirovanie ekosistem*. 2024. T. 35. № 1-2. S. 101–123. DOI: 10.21513/0207-2564-2024-1-2-101-123.
15. Sacuk I.V. Zakonomernosti raspredeleniya i tekhnicheskogo sostoyaniya ekspluatiruemykh pozharnyh avtomobilej po pokazatelyam konstruktivnoj bezopasnosti silovyh ustanovok // *Sibirskij pozharno-spasatel'nyj vestnik*. 2022. № 2 (25). S. 31–38. DOI: 10.34987/vestnik.sibpsa.2022.27.97.004.
16. Dejneka E.G., Lozhkina O.V. Analiz i obobshchenie statisticheskikh i issledovatel'skikh dannyh po pozharam avtotransportnyh sredstv, obuslovlennym pozharoopasnym rezhimom raboty termokataliticheskikh sistem // *Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere*. 2024. № 3 (71). S. 107–122. DOI 10.61260/1998-8990-2024-3-107-122.
17. Sovetbekov B., Tokushev I.S., Nurmatov D.B. Upravlenie emissiej zagryaznyayushchih veshchestv avtotransporta // *Izvestiya VUZov Kyrgyzstana*. 2024. № 6. S. 19–22. DOI: 10.26104/IVK.2024.11.54.005.
18. Bounding the role of black carbon in the climate system: A scientific assessment / T.C. Bond [et al.] // *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*. 2013. Vol. 118. P. 5380–5552. DOI: 10.1002/jgrd.50171.
19. Reuckij A.S., Shurpyak V.K., Tolmachev S.A. Analiz polozhenij rukovodyashchih principov IMO po ocenke intensivnosti vybrosov parnikovyh gazov na protyazhenii zhiznennogo cikla dlya vsekh vidov sudovogo topliva // *Nauchno-tekhnicheskij sbornik Rossijskogo morskogo registra sudohodstva*. 2025. № 79. S. 14–25.

**Информация о статье:**

Статья поступила в редакцию: 03.10.2025; одобрена после рецензирования: 19.10.2025;  
принята к публикации: 10.11.2025

**The information about article:**

The article was submitted to the editorial office: 03.10.2025; approved after review: 19.10.2025;  
accepted for publication: 10.11.2025

*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](mailto:vnlojkin@yandex.ru), <https://orcid.org/0000-0001-6381-0519>, SPIN-код: 9496-2451.

**Сацук Иван Владимирович**, старший преподаватель кафедры пожарной и аварийно-спасательной техники Сибирской пожарно-спасательной академии ГПС МЧС России (662972, Красноярский край, г. Железногорск, ул. Северная, д. 1), e-mail: [kviteren@gmail.com](mailto:kviteren@gmail.com), <https://orcid.org/0009-0000-9465-6278>, SPIN-код: 7978-4483.

*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](mailto:vnlojkin@yandex.ru), <https://orcid.org/0000-0001-6381-0519>, SPIN: 9496-2451.

**Satsuk Ivan V.**, senior lecturer at the department of fire and emergency rescue equipment at the Siberian fire and rescue academy of EMERCOM of Russia (662972, Krasnoyarsk Krai, Zheleznogorsk, Severnaya st., 1), e-mail: [kviteren@gmail.com](mailto:kviteren@gmail.com), <https://orcid.org/0009-0000-9465-6278>, SPIN: 7978-4483.