



## СИСТЕМНАЯ ОЦЕНКА ВОЗДЕЙСТВИЯ УЛИЧНО-ДОРОЖНОЙ СЕТИ НА АТМОСФЕРУ УРБАНИЗИРОВАННОЙ ТЕРРИТОРИИ

Е. В. Бондаренко<sup>1</sup>, А. А. Филиппов<sup>1</sup>, И. Ф. Сулейманов<sup>2</sup>, Ш. М. Минатуллаев<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Оренбургский государственный университет,  
г. Оренбург, Россия,

<sup>2</sup>Набережночелнинский институт (филиал)  
Казанский федеральный университет,  
г. Набережные Челны, Россия,

<sup>3</sup>Дагестанский государственный аграрный университет  
имени М.М. Джамбулатова,

г. Махачкала, Республика Дагестан, Россия  
<http://orcid.org/0000-0003-2065-9227>,

[aafilippov1979@gmail.com](mailto:aafilippov1979@gmail.com), <http://orcid.org/0000-0002-8957-9762>

[real7best@mail.ru](mailto:real7best@mail.ru), <http://orcid.org/0000-0003-0867-5574>

[interpol1199@mail.ru](mailto:interpol1199@mail.ru), <http://orcid.org/0000-0003-3831-688X>

\*ответственный автор

### АННОТАЦИЯ

**Введение.** Для исследования урбанизированной территории как системы использован подход, позволяющий оценивать газообразное и дисперсное загрязнение атмосферы с использованием единой шкалы экологической опасности. Рассматривались особенности загрязнения воздуха урбанизированных территорий, где на ограниченных перенаселённых площадях сосредоточено значительное количество стационарных и передвижных источников негативного воздействия на окружающую среду.

**Цель исследования.** использование теоретических основ для системной оценки уровня экологической опасности участка урбанизированной территории при воздействии улично-дорожной сети за счёт совокупности газообразного и дисперсного загрязнений атмосферы.

**Методы и материалы.** На основе усовершенствованной модели системы «Урбанизированная территория» предложена следующая гипотеза: 1) автотранспортные потоки являются одновременно и самостоятельными источниками образования дисперсных частиц, и источниками взмётывания и распространения частиц, что в присутствии газообразных загрязняющих веществ повышает уровень экологической опасности загрязнения атмосферы урбанизированной территории; 2) загрязнение атмосферы урбанизированной территории формируется при наложении газообразных загрязняющих веществ и дисперсных частиц от улично-дорожной сети на загрязняющий фон других элементов системы «Урбанизированная территория».

**Результаты.** Получены карты распределения расчётного комплексного индекса загрязнения атмосферы на наиболее проблемных участках урбанизированной территории г. Набережные Челны – проспекта Мира и Казанского проспекта. Полученные результаты характеризуют изменение уровня экологической опасности участков урбанизированной территории при наложении газообразных загрязняющих веществ и дисперсных частиц от улично-дорожной сети на загрязняющий фон других элементов системы «Урбанизированная территория».

**Обсуждение и заключение.** На основе обобщения и сравнения результатов предыдущих и настоящих исследований авторов, сопоставления их с результатами других исследователей полностью подтверждена гипотеза.

**Заключение.** С подтверждением гипотезы достигнута цель исследования, которое имеет научную новизну и практическую значимость для обустройства благоприятной и комфортной городской среды.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** автотранспортные потоки, улично-дорожная сеть, урбанизированная территория, экологическая опасность, дисперсные частицы, загрязняющие вещества.

**БЛАГОДАРНОСТИ.** Авторы выражают искреннюю благодарность и признательность анонимным рецензентам за нелёгкий труд по глубокому анализу работы и ценные замечания, которые взяты в работу и учтены полностью.

© Бондаренко Е. В., Филиппов А. А., Сулейманов И. Ф., Минатуллаев Ш. М., 2022



Контент доступен под лицензией  
Creative Commons Attribution 4.0 License.

Статья поступила в редакцию 14.11.2021; одобрена после рецензирования 06.03.2022; принята к публикации 12.04.2022.

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Прозрачность финансовой деятельности: автор не имеет финансовой заинтересованности в представленных материалах и методах. Конфликт интересов отсутствует.

Для цитирования: Бондаренко Е. В. Системная оценка воздействия улично-дорожной сети на атмосферу урбанизированной территории / Е. В. Бондаренко, А. А. Филиппов, И. Ф. Сулейманов, Ш. М. Минатуллаев // Вестник СибАДИ. 2022. Т.19, № 2(84). С. 184-197. <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2022-19-2-184-197>

<https://doi.org/10.26518/2071-7296-2022-19-2-184-197>

<https://elibrary.ru/JGFTGV>

Original article

## SYSTEMATIC ASSESSMENT OF STREET AND ROAD NETWORK IMPACT ON ATMOSPHERE OF URBANISED AREA

Elena V. Bondarenko <sup>1</sup>, Andrei A. Filippov <sup>†</sup>, Ilnar F. Suleymanov <sup>2</sup>, Shamil M. Minatullayev <sup>3</sup>

<sup>1</sup>Orenburg State University,  
Orenburg, Russia,

<sup>2</sup>Naberezhnochelninsky Institute (branch) of Kazan Federal University,  
Naberezhnye Chelny, Russia,

<sup>3</sup>Dzhambulatov Dagestan State Agrarian University,  
Makhachkala, Republic of Dagestan, Russia

<http://orcid.org/0000-0003-2065-9227>,

[aafilippov1979@gmail.com](mailto:aafilippov1979@gmail.com), <http://orcid.org/0000-0002-8957-9762>

[real7best@mail.ru](mailto:real7best@mail.ru), <http://orcid.org/0000-0003-0867-5574>

[interpol1199@mail.ru](mailto:interpol1199@mail.ru), <http://orcid.org/0000-0003-3831-688X>

\*corresponding author

### ABSTRACT

**Introduction.** To study the urbanized territory as a system, an approach was used that allows assessing gaseous and dispersed atmospheric pollution using a unified scale of environmental hazard. The features of air pollution in urban areas were considered, where a significant number of stationary and mobile sources of negative environmental impact are concentrated in limited overpopulated areas.

**The purpose of the study.** the use of theoretical foundations for a systematic assessment of the level of environmental hazard of an urbanized area under the influence of the road network due to a combination of gaseous and dispersed atmospheric pollution.

**Methods and materials.** Based on the improved model of the Urbanized Territory system, the following hypothesis is proposed: 1) motor traffic flows are both independent sources of formation of dispersed particles and sources of uplifting and spreading of particles, which in the presence of gaseous pollutants increases the level of environmental hazard of atmospheric pollution in an urbanized area; 2) atmospheric pollution of an urbanized area is formed when gaseous pollutants and dispersed particles from the street and road network are superimposed on the polluting background of other elements of the Urbanized territory system.

**Results.** The distribution maps of the calculated complex index of atmospheric pollution were obtained for the most problematic areas of the urbanized territory of Naberezhnye Chelny - Prospekt Mira and Kazansky Prospekt. The obtained results characterize the change in the level of environmental hazard of urbanized areas when gaseous pollutants and dispersed particles from the street and road network are superimposed on the polluting background of other elements of the Urbanized territory system.

**Discussion and conclusion.** Based on the generalization and comparison of the results of previous and current studies of the authors, comparing them with the results of other researchers, the hypothesis was fully confirmed.

**Conclusion.** With the confirmation of the hypothesis, the goal of the study was achieved, which has scientific novelty and practical significance for the arrangement of a favorable and comfortable urban environment.

**KEYWORDS:** traffic flows, road network, urbanized area, environmental hazard, dispersed particles, pollutants.

© Bondarenko E. V., Filippov A. A., Suleymanov I. F., Minatullayev S. M., 2022



Content is available under the license  
Creative Commons Attribution 4.0 License.

**THANKS.** *The authors express sincere gratitude to anonymous reviewers for the difficult work on a deep analysis of the work and valuable comments, which are taken into account and will be fully taken into account.*

**The article was submitted 14.11.2021; approved after reviewing 06.03.2022; accepted for publication 12.04.2022.**

**The authors have read and approved the final manuscript.**

**Financial transparency: the authors have no financial interest in the presented materials or methods. There is no conflict of interest.**

*For citation: Elena V. Bondarenko, Andrei A. Filippov, Ilmar F. Suleymanov, Shamil M. Minatullayev Systematic assessment road network impact on atmosphere of urbanized area. The Russian Automobile and Highway Industry Journal. 2022; 19 (2): 184-197. <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2022-19-2-184-197>*

## ВВЕДЕНИЕ

Особенностью урбанизированных территорий является сосредоточение на ограниченных перенаселённых площадях значительного количества стационарных и передвижных источников загрязнения окружающей среды. В этой связи закономерности образования загрязнений урбанизированных территорий имеют сложную многофакторную природу и, как следствие, многообразный характер отрицательного влияния на население. Поэтому обеспечение экологической безопасности урбанизированной территории – проблема, которая не сводится к однонаправленному воздействию на тот или иной источник загрязнения. Требуется принятие мер, базирующихся на системном представлении о процессах загрязнения урбанизированных территорий, где воздействие источников на окружающую среду не сводится к простой аддитивной модели, так как она не учитывает большое число случайных сочетаний различных факторов. Для исследования урбанизированной территории как системы наилучшим образом применим подход, позволяющий оценивать газообразное и дисперсное загрязнение с использованием единой шкалы экологической опасности. Кроме того, системная оценка учитывает уровень экологической опасности урбанизированной территории в целом, а также позволяет ранжировать вклад различных источников в её загрязнение. Именно поэтому такие методики остаются актуальным и востребованным инструментом для системных исследований воздействия автомобильного транспорта на атмосферу урбанизированных территорий, где сочетается действие газообразного и дисперсного загрязнений.

Авторами данной статьи в публикации [1] рассматривались особенности загрязнения воздуха урбанизированных территорий, где дисперсные частицы (ДЧ) выступали в качестве основного загрязнителя воздуха. Газо-

образное загрязнение учитывалось в виде постоянной составляющей, формирующейся в условиях строгих ограничений выбросов загрязняющих веществ (ЗВ) с отработавшими газами автомобилей и стационарных источников. При этом содержание в воздухе ДЧ, имеющих автотранспортное, промышленное и иное происхождение, значительно меняется во времени и пространстве и зависит от характера протекания процессов взмётывания, распространения и осаждения, которые определяются фракционным составом (дисперсностью) частиц, структурно-функциональными параметрами автотранспортных потоков, природно-климатическими и урбанистическими особенностями территории и метеоусловиями. В результате протекания физико-химических процессов в атмосфере, ДЧ в совокупности с газообразными загрязнителями создаёт опасные для здоровья населения условия, механизм формирования которых изучен недостаточно.

Загрязнение воздуха урбанизированных территорий характеризуется наличием ДЧ различного химического и гранулометрического (фракционного) состава [2-30]. ДЧ образуются в результате сгорания топлива, изнашивания тормозных механизмов, шин, дорожного полотна, заноса извне частиц грунта, антигололёдных реагентов, протекания технологических процессов промышленных предприятий. Поэтому химический состав ДЧ, формирующихся в атмосфере урбанизированной территории, разнообразен. Однако степень вредного действия ДЧ в большей мере определяется не их химическим составом, а дисперсностью. По данным Всемирной организации здравоохранения ДЧ менее десяти микрометров (ДЧ 10, ДЧ 2,5) считаются опасными загрязняющими веществами.

Исследования ряда отечественных учёных посвящены раскрытию закономерностей образования ДЧ от автотранспорта, а также

вопросам нормативного и инженерного ограничения их отрицательного действия на здоровье населения и окружающую среду [2, 3, 5, 7, 11, 12, 14, 17, 18]. В том числе исследованы вопросы образования ДЧ при работе силовых установок транспортных средств [3, 11, 18], изнашивании дорожных покрытий, шин [17, 18], тормозных механизмов [18, 19]. Изучены проблемы мониторинга ДЧ с учётом их гранулометрического состава, в том числе мелкодисперсных частиц (ДЧ 10 и ДЧ 2,5) [10, 18, 19, 20, 21, 22, 27]. Оценён риск смертности от мелкодисперсных частиц, выбрасываемых в атмосферу стационарными источниками. Также необходимо отметить значительный вклад зарубежных учёных в исследование данной актуальной темы [26, 28, 29, 30].

Приведённый обзор раскрывает значительные наработки российских и зарубежных учёных в исследуемой области. Установлены закономерности образования, мониторинга и ограничения как газообразных, так дисперсных загрязнений воздуха урбанизированных территорий. Однако открытым остаётся вопрос формирования сложной экологической ситуации, когда при строгих ограничениях выбросов ЗВ от передвижных и стационарных источников наблюдается высокий уровень опасности, являющийся совокупным итогом газообразного и дисперсного загрязнений атмосферы. Урбанизированная территория представляет собой систему, включающую элементы промышленно-транспортной и бытовой инфраструктуры, природно-антропогенных объектов, связанные улично-дорожной сетью, где отдельные виды загрязнений накладываются друг на друга и образуют совокупность со сложным взаимодействием. В таком контексте механизм образования загрязнений невозможно исследовать только на основе закономерностей, описывающих отдельные источники воздействия на окружающую среду. Для решения описанной научной проблемы авторами данной статьи использованы теоретические основы комплексного подхода к оценке экологической опасности урбанизированной территории, которые опубликованы ранее [31]. Целью настоящего исследования является использование разработанных теоретических основ для системной оценки уровня экологической опасности участка урбанизированной территории при воздействии улично-дорожной сети (УДС) за счёт совокупности газообразного и дисперсного загрязнений атмосферы.

Для реализации цели сформулированы следующие задачи исследования:

- усовершенствование модели системы «Урбанизированная территория», позволяющей определить уровень экологической опасности участка урбанизированной территории при воздействии УДС за счёт совокупности газообразного и дисперсного загрязнений атмосферы;

- раскрытие закономерностей изменения уровня экологической опасности участка урбанизированной территории при воздействии УДС за счёт совокупности газообразного и дисперсного загрязнений атмосферы;

- построение и использование карт распределения для оценки уровня экологической опасности загрязнения атмосферы наиболее проблемных участков урбанизированной территории г. Набережные Челны – проспекта Мира и Казанского проспекта.

Настоящая статья включает описание содержания исследования по таким основным структурным элементам, как: 1) методы и материалы; 2) результаты; 3) обсуждение и заключение.

## МЕТОДЫ И МАТЕРИАЛЫ

В основе предлагаемого подхода лежит модель системы «Автотранспортный поток – урбанизированная территория» [31]. В настоящем исследовании предлагается её усовершенствовать, используя методы теории систем (рисунок 1).

В модели системы «Автотранспортный поток – урбанизированная территория» элементами системы являлись автотранспортные потоки и промышленные предприятия. УДС обеспечивала связи между ними. Взаимодействие системы с окружающей средой задавалось условиями окружающей среды (метеоусловиями), а также химическим и физическим (энергетическим) воздействием автотранспортных средств и промышленных предприятий.

В усовершенствованной модели системы «Урбанизированная территория» (рисунок 1) структура более детализирована. Она включает четыре группы элементов.

- 1) Городская застройка и прилегающие территории. В данную группу элементов системы входят жилые и общественные дома, здания и сооружения, а также прилегающая к ним территория с пешеходными и велосипедными дорожками, детскими и спортивными площадками, местами для движения и остановки личных автотранспортных средств и островками озеленения.



Рисунок 1 – Графическое представление о системе «Урбанизированная территория»  
 Источник: составлено авторами.

Figure 1 – Graphical representation of the Urbanized Territory system  
 Source: compiled by the authors.

2) Предприятия коммунально-бытового, сервисно-транспортного и промышленного назначения. В данную группу элементов системы входят соответствующие здания, сооружения, площадки, а также санитарно-защитные и другие охранные зоны. Направление сервисно-транспортного назначения включает гаражи, стоянки, сервисы, заправочные станции, пункты продажи запасных частей и эксплуатационных материалов и другие автообслуживающие и автотранспортные предприятия.

3) Природно-антропогенные объекты. К данной группе элементов системы относятся экосистемы, природные ландшафты и составляющие их объекты, сохранившие природные свойства или частично изменённые в результате деятельности человека, имеющие рекреационное и защитное значение.

4) Улично-дорожная сеть. К данной группе элементов системы относятся автомобильные дороги, как инженерные сооружения, автотранспортные потоки, элементы обустройства, предназначенные для движения пешеходов, велосипедистов, остановочно-пересадочные пункты.

Отношение элементов к системе «Урбанизированная территория» определяется, во-первых, их территориальным единством, во-вторых, связями между ними, которые обеспечивает УДС. Третьим важным признаком системности является наличие цели. Выделение всех четырёх элементов из окружающей среды в систему происходит с целью обеспечения благоприятной и комфортной городской среды. Взаимодействие усовершенствованной системы с окружающей средой задаётся

параметрами окружающей среды, в том числе метеоусловиями, а также химическим, физическим, биологическим<sup>1</sup> и стацциально-деструкционным<sup>2</sup> воздействиями элементов системы на окружающую среду. Цель системы достигается за счёт обеспечения благоприятной окружающей среды<sup>3</sup>, то есть качества окружающей среды<sup>4</sup>. Качество окружающей среды определяется внешними параметрами (естественными факторами) и параметрами функционирования элементов системы «Урбанизированная территория». Совокупность параметров функционирования элементов задают степень негативного воздействия<sup>5</sup> системы на окружающую среду и её качество. При этом на параметры отдельно взятого элемента системы накладываются ограничения, связанные с функционированием других элементов системы (градостроительные, экологические и другие ограничения) и условиями окружающей среды. Такое представление об урбанизированной территории позволяет при исследовании выделять каждый источник негативного воздействия в отдельности с учётом системных связей, что является залогом объективности результатов изучения закономерностей образования, распространения, мониторинга и ограничения загрязнений и, в целом, разработки природоохранных мероприятий адекватно экологической ситуации.

В качестве индикатора качества окружающей среды авторы статьи в работе [31] предложили использовать комплексный индекс

экологической нагрузки урбанизированной территории (КИЭН) на окружающую среду:

$$\text{КИЭН} = f(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n) \rightarrow \min, \quad (1)$$

где КИЭН представлен в виде безразмерного критерия, определяющегося совокупностью  $\{x_1, x_2, x_3, \dots, x_n\}$  параметров функционирования элементов системы «Урбанизированная территория», связанных взаимодействием между собой и с окружающей средой.

Данный критерий позволяет использовать широкую гамму методов для оценки качества окружающей среды и мониторинга загрязнений по химическому составу, а также акустическим и электромагнитным полям всех природных сред. В частности КИЭН использован авторами для моделирования экологической ситуации урбанизированной территории при различном сочетании способов организации движения автомобилей по выбросам газобразных ЗВ и транспортному шуму [31]. Также данный критерий применялся авторами при разработке концепции благоприятной и комфортной городской среды за счёт безопасного размещения сервисно-транспортной инфраструктуры городских многоэтажных застроек<sup>6,7</sup>.

Отметим, что в более ранних научных работах авторов имело место использование расчётного комплексного индекса загрязнения атмосферы (РКИЗА), предложенного Г.В. Мавриным и И.Ф. Сулеймановым<sup>8</sup>:

<sup>1</sup> Биологическое воздействие – воздействие на состав и структуру популяций живых организмов.

<sup>2</sup> Стацциально-деструкционное воздействие – ландшафтное воздействие на место обитание популяции живых организмов.

<sup>3</sup> Благоприятная окружающая среда – окружающая среда, качество которой обеспечивает устойчивое функционирование естественных экологических систем, природных и природно-антропогенных объектов (определение из Федерального закона от 10.01.2002 № 7-ФЗ (ред. от 02.07.2021) «Об охране окружающей среды»).

<sup>4</sup> Качество окружающей среды – состояние окружающей среды, которое характеризуется физическими, химическими, биологическими и иными показателями и (или) их совокупностью (определение из Федерального закона от 10.01.2002 № 7-ФЗ (ред. от 02.07.2021) «Об охране окружающей среды»).

<sup>5</sup> Негативное воздействие на окружающую среду – воздействие хозяйственной и иной деятельности, последствия которой приводят к негативным изменениям качества окружающей среды (определение из Федерального закона от 10.01.2002 № 7-ФЗ (ред. от 02.07.2021) «Об охране окружающей среды»).

<sup>6</sup> Филиппов А. А., Бондаренко Е. В., Рассоха В. И., Сулейманов И. Ф. Создание сервисно-транспортной инфраструктуры городских многоэтажных застроек по критериям экологической безопасности // Региональные проблемы геологии, географии, техносферной и экологической безопасности: сборник статей Всероссийской научно-практической конференции (Оренбург, 18–20 ноября 2019 года). Оренбург. Издательство: ИП Востриков К «Полиарт», 2019. С. 352-356.

<sup>7</sup> Третьяк Л. Н., Вольнов А. С., Стрельников А. В. О возможных путях решения проблемы оценки экологической безопасности в местах стоянок и парковок автотранспорта в Оренбурге // Региональные проблемы геологии, географии, техносферной и экологической безопасности: сборник статей Всероссийской научно-практической конференции (Оренбург, 18–20 ноября 2019 года). Оренбург: Издательство: ИП Востриков К «Полиарт», 2019. С. 338-345

<sup>8</sup> Сулейманов, И.Ф. Организация движения автомобилей на основе экологического мониторинга воздушного бассейна: автореф. дис. ... канд. техн. наук : защищена 05.07.2016; утв. 25.01.2017. Оренбург: ОГУ, 2016. 16 с.

$$PKIZA = \sum_{i=1}^r \left( \frac{C_{mi(ст.)} + C_{mi(авт.)}}{ПДК_i} \right)^{\beta_i} = \sum_{i=1}^r \left( \frac{C_{mi}}{ПДК_i} \right)^{\beta_i}, \quad (2)$$

где  $C_{mi(ст.)}$  и  $C_{mi(авт.)}$  – максимальные приземные концентрации  $i$ -го ЗВ от стационарных источников и автотранспортных потоков, мг/м<sup>3</sup>;

$C_{mi}$  – общая максимальная приземная концентрация  $i$ -го ЗВ от стационарных источников и автотранспортных потоков ( $C_{mi} = C_{mi(ст.)} + C_{mi(авт.)}$ ), мг/м<sup>3</sup>;

ПДК <sub>$i$</sub>  – предельно-допустимая концентрация  $i$ -го ЗВ в атмосфере населённого пункта, мг/м<sup>3</sup>;

$\beta_i$  – безразмерная константа, позволяющая соотнести степень вредности  $i$ -го ЗВ с вредностью диоксида серы;

$r$  – количество ЗВ.

РКИЗА является индикатором качества атмосферы урбанизированной территории и хорошо вписывается в системные представления об исследуемых процессах, интегрируя экологические характеристики стационарных ( $C_{mi(ст.)}$ ) и передвижных ( $C_{mi(авт.)}$ ) источников по всем ЗВ. РКИЗА разграничивает уровни экологической опасности загрязнения атмосферы урбанизированной территории: низкий (РКИЗА=0...4), повышенный (РКИЗА=5...6), высокий (РКИЗА=7...13), очень высокий (РКИЗА≥14). Данный критерий является частным, производным от КИЭН, и использован авторами в целях настоящего исследования для раскрытия закономерностей изменения уровня экологической опасности участка урбанизированной территории при воздействии УДС за счёт совокупности газообразного и дисперсно-загрязнений атмосферы.

Целесообразность использования частного критерия объясняется спецификой за-

дач настоящего исследования, где требуется раскрыть закономерности, обусловленные взаимодействием элементов системы «Урбанизированная территория» между собой и атмосферой – частью окружающей среды, наиболее уязвимой в условиях современного города из-за значительного объёма выбросов газообразных ЗВ и ДЧ от УДС. Целевая функция системы запишется в следующем виде:

$$PKIZA = f(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n) \rightarrow \min. \quad (3)$$

В таком виде целевая функция характеризует условие формирования благоприятной и комфортной городской среды через минимизацию уровня экологической опасности загрязнения атмосферы урбанизированной территории за счёт разработки природоохранных мероприятий, обеспечивающих необходимое сочетание параметров функционирования элементов системы  $\{x_1, x_2, x_3, \dots, x_n\}$ . Таким образом, становится возможным рассматривать сколько угодно разные по протяжённости участки урбанизированной территории и выделять в их границах любые элементы, являющиеся основными источниками выбросов газообразных ЗВ и ДЧ, в том числе элементы УДС, если считать параметры их функционирования взаимосвязанными с параметрами других элементов системы и окружающей среды.

Для исследования выбраны два участка УДС города Набережные Челны, которые полностью соответствуют описанным выше представлениям о системе «Урбанизированная территория». Это проспект Мира и Казанский проспект (таблица 1).

**Таблица 1**  
Материалы инвентаризации участков улично-дорожной сети  
Источник: составлено авторами.

**Table 1**  
Materials of road network sections inventory  
Source: compiled by the authors.

Исследуемый участок	Интенсивность движения по типу автотранспортных средств, авт./20 мин					
	Л	АБ	АД	ГБ	ГД	в совокупности <sup>9</sup>
1 пр-т Мира	1246	6	83	18	3	1356
2 Казанский пр-т	1460	2	22	80	224	1788

Л – легковые; АБ – автобусы бензиновые; АД – автобусы дизельные; ГБ – грузовые бензиновые; ГД – грузовые дизельные

<sup>9</sup> Доля газобаллонных автотранспортных средств составляет около 5 %.

На выбранных участках УДС наблюдается высокая интенсивность движения автотранспортных потоков, одна из самых высоких в г. Набережные Челны. На обоих участках в составе автотранспортных потоков представлены все типы автотранспортных средств. Имеется развитая городская застройка с прилегающей к исследуемым участкам территорией. Важно отметить, что градообразующим предприятием г. Набережные Челны является автозавод ПАО «КАМАЗ», влияние которого как мощного стационарного источника выбросов газообразных ЗВ и ДЧ равновелико на оба участка. Кроме того, на атмосферу городской застройки, прилегающей к проспектам, негативное воздействие оказывают многочисленные сервисно-транспортные предприятия.

Для оценки уровня экологической опасности загрязнения воздуха газообразными ЗВ использованы материалы ранее проведенных и опубликованных исследований [27, 31].

С помощью расчётно-инструментальной методики экологического мониторинга, разработанной И.Ф. Сулеймановым, выполнен сводный расчет рассеивания 143 ЗВ, образующих 28 групп суммации и составлены цифровые карты распределения приземных концентраций ЗВ г. Набережные Челны. Отмечено превышение ПДК по ЗВ из групп суммации СО и NO<sub>x</sub>. Для СО зоны со значениями максимальных приземных концентраций более одного ПДК наблюдаются у 100 % обследованных участков УДС. Превышение ПДК по NO<sub>x</sub> ожидается более чем у 70 % обследованных участков УДС. Таким образом, выбраны приоритетные газообразные ЗВ (СО и NO<sub>x</sub>), по которым выполнена оценка. Уровень экологической опасности загрязнения воздуха газообразными ЗВ по проспекту Мира относится к повышенному (I), а Казанскому проспекту – к высокому (РКИЗА<sub>max</sub>=7,5).

На основе установленных для урбанизированной территории закономерностей загрязнения воздуха [1] предложена следующая

гипотеза исследования: 1) автотранспортные потоки являются одновременно и самостоятельными источниками образования ДЧ, и источниками взмётывания и распространения частиц, что в присутствии газообразных ЗВ повышает уровень экологической опасности загрязнения атмосферы урбанизированной территории; 2) загрязнение атмосферы урбанизированной территории формируется при наложении газообразных ЗВ и ДЧ от УДС на загрязняющий фон других элементов системы «Урбанизированная территория». Для того, чтобы подтвердить гипотезу получены результаты оценки РКИЗА двух участков урбанизированной территории (проспекта Мира и Казанского проспекта) с учётом загрязнения атмосферы газообразными ЗВ и ДЧ.

## РЕЗУЛЬТАТЫ

В ходе исследования для определения содержания ДЧ в воздухе применён инструментальный метод. Использован пылемер GRIMM Aerosol Spectrometer 1.109. При отборе проб фиксировались метеоусловия – направление и скорость ветра, а также температура и влажность воздуха. При измерении концентрации ДЧ в воздухе охватывался период времени с 8:00 до 20:00 часов. Учитывались параметры автотранспортных потоков исследуемых участков УДС, которые отражены в таблице 1. Исследуемые участки УДС относятся к автомобильным дорогам обычного типа II категории с асфальтобетонным покрытием. Результаты измерения использовались для расчёта средних концентраций ДЧ 10 и ДЧ 2,5 (таблица 2).

На всех исследуемых участках УДС имеется превышение среднесуточной предельно-допустимой концентрации (ПДК<sub>с.с.</sub>) по ДЧ. Причём кратность превышения ПДК<sub>с.с.</sub> тем больше, чем выше интенсивность автотранспортного потока. Однако уровень дисперсного загрязнения воздуха определялся не только интенсивностью.

Таблица 2  
Концентрации ДЧ 10 и ДЧ 2,5 в точках отбора проб  
Источник: составлено авторами.

Table 2  
Concentrations of PM 10 and PM 2,5 at sampling points  
Source: compiled by the authors.

Точка отбора	Средние концентрации ДЧ, мкг/м <sup>3</sup>		ПДК <sub>с.с.</sub> , мкг/м <sup>3</sup>		Кратность превышения ПДК <sub>с.с.</sub>	
	ДЧ10	ДЧ2,5	ДЧ10	ДЧ2,5	ДЧ10	ДЧ2,5
1 пр-т Мира	317,73	60,35	60	35	5,30	1,73
2 Казанский пр-т	559,22	117,56			9,32	3,36



Значимым фактором также являлся состав автотранспортного потока. Увеличение доли автобусов и грузовых автотранспортных средств, как наиболее мощных источников загрязнения по сравнению с легковыми, приводит к росту концентрации ДЧ в воздухе. Данный фактор проявляется отчётливее с увеличением доли автотранспортных средств с дизельными двигателями, которые, по сравнению с бензиновыми, выбрасывают в атмосферу значительно большее количество ДЧ. Также необходимо отметить влияние метеорологических условий на уровень дисперсного загрязнения воздуха, который зависит от температуры и влажности воздуха, а также скорости ветра. Результаты исследования выделенных участков УДС по данным факторам полностью согласуются с установленными и опубликованными авторами ранее закономерностями дисперсного загрязнения воздуха урбанизированной территории [1]:

$$\begin{cases} C_{ДЧ10} = 1276,08 - 22,56 \cdot t - 11 \cdot u - 118,96 \cdot v + 0,10 \cdot n \\ C_{ДЧ2,5} = 250,17 - 5,72 \cdot t - 1,98 \cdot u - 20,87 \cdot v + 0,03 \cdot n \end{cases} \quad (4)$$

где  $t$  – температура воздуха, °С;  
 $u$  – влажность воздуха, %;  
 $v$  – скорость ветра, м/с;  
 $n$  – интенсивность автотранспортного потока, авт./20 мин.

Важно отметить равнозначность для обоих исследуемых участков УДС повышенного загрязняющего фона, охватывающего городскую застройку и прилегающие территории, что является негативным результатом совокупного действия всех элементов системы «Урбанизированная территория», включая стационарные источники выбросов газообразных ЗВ и ДЧ. Также для обоих исследуемых участков УДС отмечен минимальный вклад ветровой эрозии в процесс дисперсного загрязнения воздуха, так как прилегающая территория имеет минимум незадернованных поверхностей.

На основе описанных выше исходных данных авторами получены карты распределения РКИЗА на исследуемых участках УДС (рисунки 2, 3).

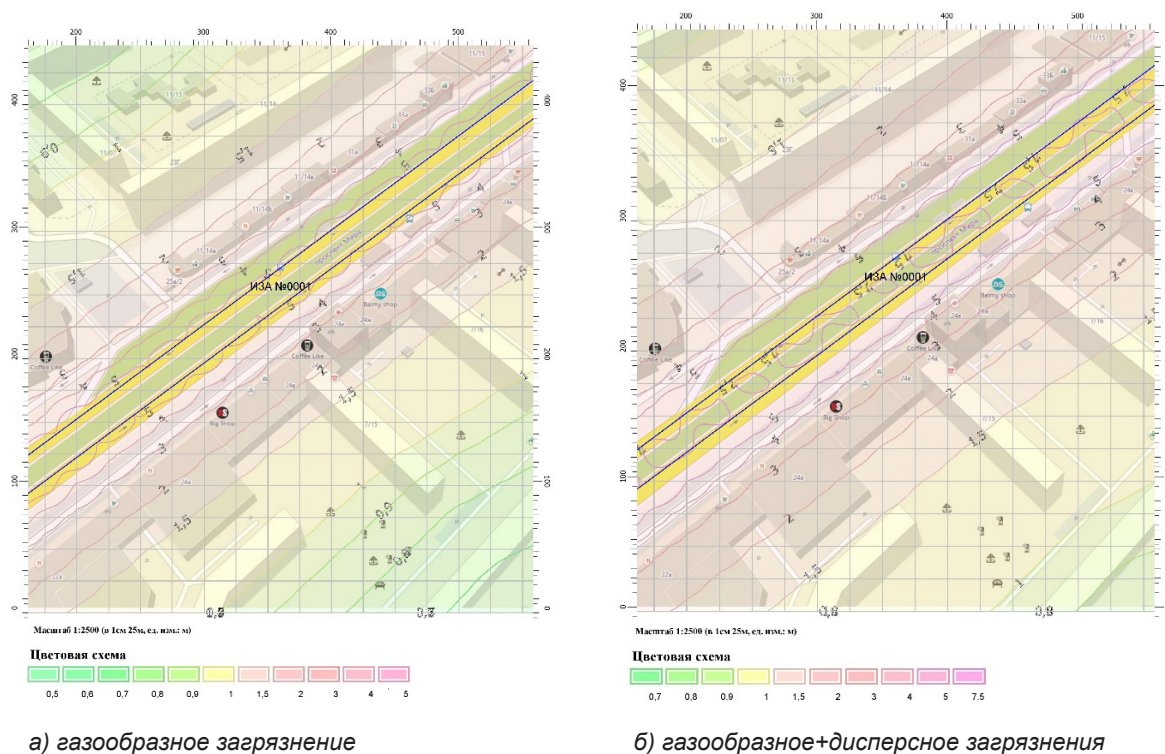


Рисунок 2 – Карты распределения РКИЗА на участке УДС «Проспект Мира»  
 Источник: составлено авторами.

Figure 2 – Distribution maps of RKIZA on the section of Prospect Mira street and road network  
 Source: compiled by the authors.

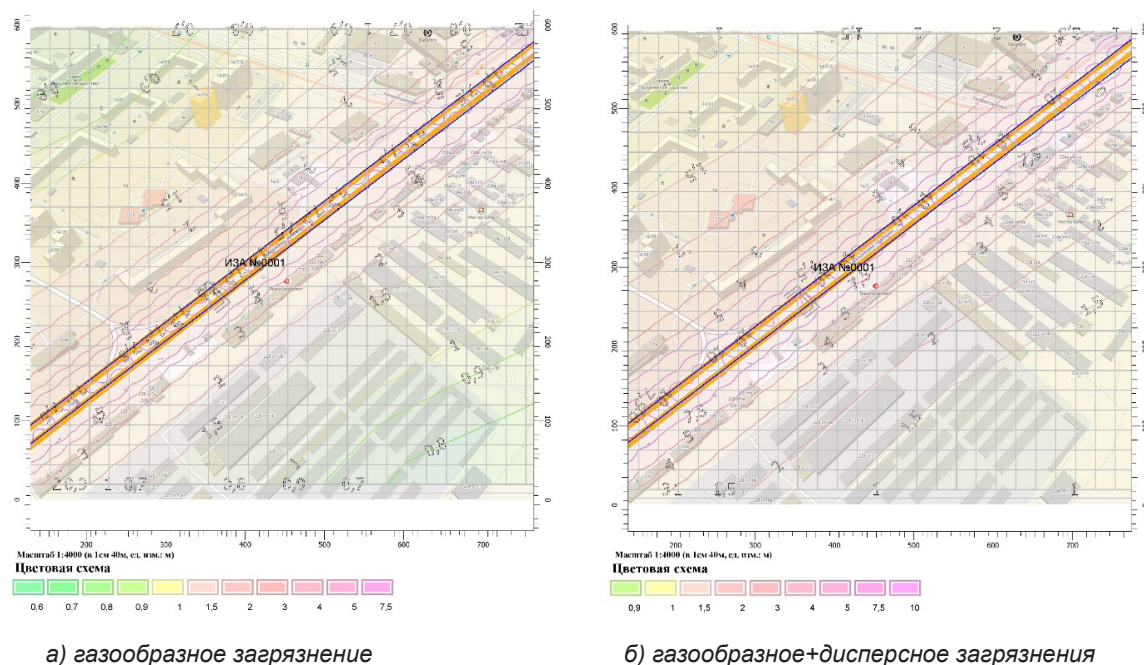


Рисунок 3 – Карты распределения РКИЗА на участке УДС «Казанский проспект»  
Источник: составлено авторами.

Figure 3 – Distribution maps of RKIZA on the section of the Kazansky Prospekt street and road network  
Source: compiled by the authors.

Полученные результаты характеризуют изменение уровня экологической опасности участков урбанизированной территории при наложении газообразных ЗВ и ДЧ от УДС на загрязняющий фон других элементов системы «Урбанизированная территория».

## ОБСУЖДЕНИЕ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Максимальное значение РКИЗА наблюдается в зоне влияния автомобильных дорог исследуемых участков УДС. При самых благоприятных метеорологических условиях, когда дисперсное загрязнение отсутствует, уровень экологической опасности загрязнения воздуха по проспекту Мира относится к повышенному (РКИЗА = 5), а Казанскому проспекту – к высокому (РКИЗА = 7,5).

Наложение дисперсного загрязнения на газообразное, в случае неблагоприятных метеорологических условий, приводит к повышению уровня экологической опасности урбанизированной территории в 1,3-1,5 раза, включая и зоны влияния автомобильных дорог (20 м), и прилегающие территории с городской застройкой (200 м). В данном случае участок УДС «Проспект Мира» переходит в категорию урбанизированных территорий с высоким уровнем экологической опасности (РКИЗА = 7,5), что приравнивает его в этом смысле к Казан-

скому проспекту (РКИЗА = 10) с разницей по РКИЗА в 1,3 раза. Рост значений РКИЗА в зоне влияния автомобильных дорог и на прилегающих территориях с городской застройкой объясняется тем, что ДЧ размером менее 10 мкм имеют схожий с газообразными ЗВ механизм распространения. Более крупные ДЧ не дают такой эффект, так как процесс взмётывания под действием турбулентных вихрей от движущихся автотранспортных средств компенсируется гравитационным осаждением.

При удалении от автомобильной дороги в сторону городской застройки значение РКИЗА уменьшается в 1,3 раза каждые 20 м, что в конечном итоге приводит снижению уровня экологической опасности с высокого до повышенного и низкого. На участке УДС «Проспект Мира» переход к низкому уровню экологической опасности происходит при удалении от автомобильной дороги на расстояние 50 м. На участке УДС «Казанский проспект» такой границей является расстояние 75 м. При отсутствии дисперсного загрязнения безопасные границы начинаются раньше, на расстоянии 35 и 50 м от автомобильной дороги соответственно. Такое распределение РКИЗА позволяет утверждать, что расстояние от участка УДС является значимым фактором, определяющим уровень экологической опасности как

по газообразному, так и дисперсному загрязнению. С увеличением расстояния в результате протекания процессов рассеивания и осаждения концентрации газообразных ЗВ и мелкодисперсных частиц убывают, а крупнодисперсные частицы остаются в ближайшей зоне влияния автомобильных дорог. Кроме того, городская застройка препятствует распространению загрязнений на значительные расстояния.

Негативное воздействие на атмосферу остальных элементов, формирующих с УДС систему «Урбанизированная территория», необходимо рассматривать в качестве фонового. К такому выводу авторы пришли при сопоставлении результатов настоящего и предыдущих исследований [1, 27, 31]. Доля фона в общей картине загрязнения варьируется в диапазонах 2-19 % и 4-23 % соответственно для ДЧ 10 и ДЧ 2,5 в зависимости от состава и интенсивности автотранспортных потоков и метеословий. Доля фонового газообразного загрязнения составляет около 30 % и определяется параметрами функционирования стационарных источников выбросов газообразных ЗВ.

Обобщение и сравнение результатов предыдущих и настоящих исследований авторов, сопоставление их с результатами других исследователей показало основной вклад УДС в загрязнение атмосферы урбанизированной территории как по газообразным (более 70 %), так и по дисперсным (более 80 %) ЗВ. Автотранспортные потоки являются одновременно и самостоятельными источниками образования ДЧ, и источником взмётывания и распространения частиц за пределы УДС, что в присутствии газообразных ЗВ в 1,3-1,5 раза повышает уровень экологической опасности загрязнения атмосферы урбанизированной территории. Загрязнение атмосферы урбанизированной территории формируется при наложении загрязнения от УДС на загрязняющий фон остальных элементов системы «Урбанизированная территория». Таким образом, гипотеза, выдвинутая в начале настоящего исследования полностью подтверждается полученными результатами.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

С подтверждением гипотезы достигнута цель настоящего исследования, которая заключается в использовании теоретических основ для системной оценки уровня экологической опасности участка урбанизированной территории при воздействии УДС за счёт совокупности газообразного и дисперсного загрязнений атмосферы.

Научная новизна настоящего исследования заключается в усовершенствовании модели «Урбанизированная территория», которая определяет системное взаимодействие следующих элементов: 1) городская застройка и прилегающая территория; 2) предприятия; 3) природно-антропогенные объекты; 4) УДС. Уточнена структура и связи системы «Урбанизированная территория», которая позволяет сформировать совокупность показателей благоприятной и комфортной городской среды при наличии ограничений, связанных с взаимодействием всех элементов системы в условиях окружающей среды.

На основе уточнённых модельных представлений получены новые научные результаты по закономерностям изменения уровня экологической опасности участка урбанизированной территории при совокупном газообразном и дисперсном загрязнении атмосферы от УДС и других элементов системы «Урбанизированная территория».

Практическая значимость настоящего исследования заключается в использовании карт распределения РКИЗА для оценки уровня экологической опасности загрязнения атмосферы наиболее проблемных участков урбанизированной территории г. Набережные Челны – проспекта Мира и Казанского проспекта. Результаты оценки дают объективное представление о качестве атмосферы данных участков урбанизированной территории при наложении дисперсного загрязнения на газообразное с учётом совокупного воздействия УДС и других элементов системы «Урбанизированная территория». Карты распределения РКИЗА являются необходимым материалом для обоснования мероприятий по созданию благоприятной и комфортной городской среды. Ранжирование мероприятий по эффективности сокращения загрязнения воздуха газообразными ЗВ и ДЧ является объектом дальнейших исследований.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Филиппов А. А., Сулейманов И. Ф., Якунин С. Н. Особенности загрязнения воздуха дисперсными частицами урбанизированной территории «ИноКам» // Интеллект. Инновации. Инвестиции. 2021. № 5. С. 72–80. DOI: 10.25198/2077-7175-2021-5-72
2. Азаров В. К. Новые нормы на чёрный углерод в саже и его влияние с парниковыми газами CO<sub>2</sub> на потепление климата планеты // Журнал автомобильных инженеров. 2012. № 4 (75). С. 54-57. [https://elibrary.ru/download/elibrary\\_18622742\\_91184518.pdf](https://elibrary.ru/download/elibrary_18622742_91184518.pdf)
3. Азаров В. К., Кутенёв В. Ф., Степнов В. В. О выбросе твёрдых частиц автомобильным транспортом // Журнал автомобильных инженеров.

2012. № 6 (77). С. 55-58. [https://elibrary.ru/download/elibrary\\_21972010\\_73390786.pdf](https://elibrary.ru/download/elibrary_21972010_73390786.pdf)

4. Азаров В. Н., Кузьмичев А. А., Николенко Д. А., Васильев А. Н., Козловцева Е. Ю. Исследование дисперсного состава пыли городской среды // Вестник МГСУ. 2020. Т. 15. №3. С. 432-442. DOI: 10.22227/1997-0935.2020.3.432-442

5. Гудков В. А., Комаров Ю. Я., Федотов В. Н. Методология активного воздействия на экологическую нагрузку городского автотранспорта: монография. – Волгоград: ВолгГТУ, 2009. – 143 с.

6. Денисов В. Н., Загриценко А. В. Микроскопические твердые частицы как приоритетный вид загрязнения атмосферного воздуха мегаполисов России // Охрана атмосферного воздуха. Атмосфера. 2010. № 3. С. 21-22.

7. Денисов В. Н., Федотов В. Н. Инженерный метод очистки воздушной среды городской УДС // Охрана атмосферного воздуха. Атмосфера. 2011. № 3. С. 54-59.

8. Денисов В. Н., Федотов В. Н. Инновации в снижении экологических рисков от воздействия автотранспорта в крупных городах // Дорожная держава. 2012. Специальный выпуск. С. 89-91.

9. Денисов В. Н., Копытенкова О. И. Микроскопические твердые частицы как приоритетный вид загрязнения атмосферного воздуха урбанизированной территории // Техносферная и экологическая безопасность на транспорте: материалы 3-й Международной конференции (Санкт-Петербург, ноябрь 2012 г.). СПб, 2012. С. 72-76.

10. Загороднов С. Ю., Май И. В., Кокоулина А. А. Мелкодисперсные частицы (PM<sub>2,5</sub> и PM<sub>10</sub>) в атмосферном воздухе крупного промышленного региона: проблемы мониторинга и нормирования в составе производственных выбросов // Гигиена и санитария. 2019. Т. 98. № 2. С. 142-147.

11. Кульчицкий А. Р. Образование дисперсных частиц при горении топлива в дизелях // Экология и промышленность России. 2009. № 12. С. 35-37.

12. Лагузин А. Б., Карелина М. Ю., Гайдар С. М., Пастухов А. Г. Повышение экологической безопасности двигателей внутреннего сгорания в условиях эксплуатации // Инновации в АПК: проблемы и перспективы. 2020. № 3 (27). С. 53-62. [https://elibrary.ru/download/elibrary\\_44085221\\_33097054.pdf](https://elibrary.ru/download/elibrary_44085221_33097054.pdf)

13. Ложкина О. В., Малышев С. А., Хахленов А. В. Исследование опасного загрязнения придорожного воздуха мелкодисперсными взвешенными частицами PM<sub>10</sub> и PM<sub>2,5</sub> на примере Санкт-Петербурга // Проблемы управления рисками в техносфере. 2021. № 2 (58). С. 96-103. [https://elibrary.ru/download/elibrary\\_46260695\\_70627725.pdf](https://elibrary.ru/download/elibrary_46260695_70627725.pdf)

14. Рапопорт О. А., Копылов И. Д., Рудой Г. Н. К вопросу о нормировании выбросов мелкодисперсных частиц размерами менее 10 мкм (ДЧ<sub>10</sub>) и менее 2,5 мкм (ДЧ<sub>2,5</sub>) // Экологический вестник России. 2012. № 4. С. 47-52.

15. Соболев А. А. К вопросу о движении частиц в воздушном потоке // Экология и промышленность России. 2009. № 2. С. 22-25. [https://elibrary.ru/download/elibrary\\_11903334\\_31826760.pdf](https://elibrary.ru/download/elibrary_11903334_31826760.pdf)

16. Субботина И. Е., Буевич А. Г., Сергеев А. П., Баглаева Е. М., Косаченко А. И., Москалева А. С. Модификация методики изучения вертикального распределения пыли и ее дисперсного состава в приземленном слое воздуха на примере города Екатеринбурга // Экологические системы и приборы. 2019. № 2. С. 3-8.

17. Третьяков О. Б., Гудков В. А., Тарновский В. Н. Шинная пыль как основной источник загрязнения окружающей среды // Шина плюс. 2004. № 1. С. 2-5.

18. Трофименко Ю. В., Чижова В. С. Обоснование мероприятий по снижению риска здоровью от загрязнения воздуха взвешенными частицами размером менее десяти микрометров (PM<sub>10</sub>) на улично-дорожной сети городов // Экология и промышленность России. 2019. Т. 23 № 7. С. 48-51. DOI: 10.18412/1816-0395-2019-7-48-51

19. Третьяк Л. Н., Вольнов А. С. Оценка экологической безопасности автотранспортных потоков по концентрациям дисперсных частиц с учётом их гранулометрического состава (на примере Оренбурга) // Интеллект. Инновации. Инвестиции. 2020. № 2. С. 134-147. DOI: 10.25198/2077-7175-2020-2-134

20. Януш Д. Н., Вольнов А. С. Предложения по экологическому мониторингу концентраций дисперсных частиц в придорожной территории автомобильных дорог города Оренбурга // Научное обозрение. Педагогические науки. 2019. № 3-4. С. 125-130. [https://elibrary.ru/download/elibrary\\_38506384\\_86919076.pdf](https://elibrary.ru/download/elibrary_38506384_86919076.pdf)

21. Aslam A., Ibrahim M., Shahid I., Mahmood A., Irshad M., Yamin M., Ghazala, Tariq M., Shamshiri R. Pollution characteristics of particulate matter (PM<sub>2,5</sub> and PM<sub>10</sub>) and constituent carbonaceous aerosols in a south asian future megacity // Applied Sciences (Switzerland). 2020. No 10(24), pp. 1-17.

22. Lozhkin V., Gavkalyuk B., Lozhkina O., Evtukov S., Ginzburg G. Monitoring of extreme air pollution on ring roads with PM<sub>2.5</sub> soot particles considering their chemical composition (case study of Saint Petersburg) // Transportation Research Procedia. 2020. Vol. 50, pp. 381–388. DOI: 10.1016/j.trpro.2020.10.045

23. Lozhkin V., Lozhkina O., Rogozinsky G., Malygin I. On information technology development for monitoring of air pollution by road and water transport in large port cities // Modern information technology and IT education. SITITO 2018. Communications in computer and information science. 2020. Vol. 1201, pp. 384–396.

24. Lozhkina O., Rogozinsky G., Lozhkin V., Malygin I., Komashinsky V. Smart technologies for decision-support in the management of environmental safety of transportation in big port cities // marine intellectual technologies. 2020. Vol. 1. No. 2 (48), pp. 125–133.

25. Lozhkina O., Lozhkin V., Seliverstov S., Kripak M. Forecasting of dangerous air pollution by cruise ships and motor vehicles in the areas of their joint influence in Sevastopol, Vladivostok and St. Petersburg // Water and Ecology. 2020. No. 1 (81), pp. 38–50.

26. Perez P. Combined model for PM 10 forecasting in a large city // *Atmospheric Environment*. 2012. Vol. 60. pp. 271-276. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2012.06.024>

27. Suleimanov I. F., Moskova E. V., Sabirov R. G., Kalimullin R. F., Filippov A. A. Organization of vehicle traffic based on environmental monitoring of the air basin // *Amazonia Investiga*. 2018. Vol. 7. No. 15, pp. 214–221.

28. Tripathi P, Deng F, Scruggs AM, Chen Y, Huang SK. Variation in doses and duration of particulate matter exposure in bronchial epithelial cells results in upregulation of different genes associated with airway disorders // *Toxicol In Vitro*. 2018. Vol. 51, pp. 95–105.

29. Wu S., Deng F. Blood pressure changes and chemical constituents of particulate air pollution: results from the Healthy Volunteer Natural Relocation (HVNR) Study // *Environmental Health Perspectives*. 2013. Vol. 121. No 1, pp. 66-72. DOI: 10.1289 / ehp.1104812

30. Yang X, Feng L, Zhang Y, Hu H, Shi Y, Liang S. Cytotoxicity induced by fine particulate matter (PM2.5) via mitochondria-mediated apoptosis pathway in human cardiomyocytes // *Ecotoxicol Environ Saf*. 2018. Vol. 161, pp. 198–207. DOI: 10.1007 / s11356-021-12431-w

31. Филиппов А.А., Сулейманов И.Ф., Арсланов М.А. Теоретические основы комплексного подхода к оценке экологической опасности автотранспорта на участке урбанизированной территории // *Интеллект. Инновации. Инвестиции*. 2019. № 1. С. 97-103. DOI: 10.25198/2077-7175-2019-1-97

## REFERENCES

1. Filippov A. A., Sulejmanov I. F., Yakunin S. N. [Features of air pollution by dispersed particles of the urbanized territory “InnoCam”]. *Интеллект. Инновации. Инвестиции* 2021; 5: 72-80. (In Russ.) DOI: 10.25198/2077-7175-2021-5-72.

2. Azarov V. K. [New standards for black carbon in soot and its effect with CO2 greenhouse gases on global warming]. *Zhurnal avtomobilnyh inzhenerov*. 2012; 4 (75): 54-57. (In Russ.) [https://elibrary.ru/download/elibrary\\_18622742\\_91184518.pdf](https://elibrary.ru/download/elibrary_18622742_91184518.pdf)

3. Azarov V. K., Kutenyov, V. F., Stepnov V. V. [On the emission of solid particles from road transport]. *Zhurnal avtomobilnyh inzhenerov*. 2012; 6 (77): 55-58. (In Russ.). [https://elibrary.ru/download/elibrary\\_21972010\\_73390786.pdf](https://elibrary.ru/download/elibrary_21972010_73390786.pdf)

4. Azarov V. N., Kuz'michev A. A., Nikolenko D. A., Vasil'ev A. N., Kozlovceva E. YU. [Urban dust dispersion study]. *Vestnik MGSU*. 20204; Vol. 15. No 3: 432-442. (In Russ.) DOI: 10.22227/1997-0935.2020.3.432-442

5. Gudkov V. A., Komarov YU. YA., Fedotov V. N. *Metodologiya aktivnogo vozdeystviya na ehkologicheskuyu nagruzku gorodskogo avtotransporta*. 2009. Volgograd: VolgGTU, 143 p.

6. Denisov V. N., Zagricenko A. V. [Microscopic solid particles as a priority type of atmospheric air pollution in megalopolises of Russia]. *Ohrana atmosfernogo vozduha. Atmosfera*. 2010; No 3: 21-22. (In Russ.)

7. Denisov, V. N., Fedotov, V. N. [Engineering method of air purification of urban UDS]. *Ohrana atmosfernogo vozduha. Atmosfera*. 2011; No 3: 54-59. (In Russ.)

8. Denisov V. N., Fedotov V. N. [Innovations in reducing environmental risks from road transport in large cities]. *Dorozhnaya derzhava*. 2012. Special issue: 89-91. (In Russ.)

9. Denisov V. N., Kopytenkova O. I. [Microscopic particulate matter as a priority type of atmospheric air pollution in urbanized areas] *Tekhnosfernaya i ehkologicheskaya bezopasnost na transporte: materialy 3-j mezhdunarodnoj konferencii* [Technosphere and environmental safety in transport: materials of the 3 International conference]. 2012. St. Petersburg: SPb: 72-76.

10. Zagorodnov S. YU., Maj I. V., Kokoulina A. A. [Fine particles (PM2,5 and PM10) in the atmospheric air of a large industrial region: problems of monitoring and rationing as part of production emissions]. *Gigiena i sanitariya* 2019; Vol. 98. No 2: 142-147. (In Russ.)

11. Kulchickij A. R. [Formation of dispersed particles during fuel combustion in diesel engines]. *Ehkologiya i promyshlennost Rossii*. 2009;12: 35-37. (In Russ.)

12. Laguzin A. B., Karelina M. YU., Gajdar S. M., Pastuhov A. G. [Improving environmental safety of internal combustion engines in operation]. *Innovacii v APK: problemy i perspektivy*. 2020; 3(27): 53-62. (In Russ.) [https://elibrary.ru/download/elibrary\\_44085221\\_33097054.pdf](https://elibrary.ru/download/elibrary_44085221_33097054.pdf)

13. Lozhkina O. V., Malyshev S. A., Hahlenov A. V. [Study of hazardous pollution of roadside air with fine suspended particles PM10 and PM2,5 using the example of St. Petersburg]. *Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere*. 2021; 2 (58):96-103. (In Russ.) [https://elibrary.ru/download/elibrary\\_46260695\\_70627725.pdf](https://elibrary.ru/download/elibrary_46260695_70627725.pdf)

14. Rapoport O. A., Kopylov I. D., Rudoj G. N. [On the issue of rationing emissions of fine particles with sizes less than 10 microns (PM10) and less than 2,5 microns (PM2,5)]. *Ehkologicheskij vestnik Rossii*. 2012; 4: 47-52. (In Russ.)

15. Sobolev A. A. [On the question of the movement of particles in an air stream]. *Ehkologiya i promyshlennost Rossii*. 2009; 2: 22-25. (In Russ.) [https://elibrary.ru/download/elibrary\\_11903334\\_31826760.pdf](https://elibrary.ru/download/elibrary_11903334_31826760.pdf)

16. Subbotina I. E., Buevich A. G., Sergeev A. P., Baglaeva E. M., Kosachenko A. I., Moskaleva A. S. [Modification of the methodology for studying the vertical distribution of dust and its dispersed composition in the ground layer of air using the example of the city of Yekaterinburg]. *Ehkologicheskie sistemy i pribory* 2019; 2: 3-8. (In Russ.)

17. Tretyakov O. B., Gudkov V. A., Tarnovskij V. N. [Tire dust as a major source of environmental pollution]. *Shina-plyus*. 2004; 1:2-5. (In Russ.)

18. Trofimenko Yu, V., Chizhova V. S. [Justification of measures to reduce health risk from air pollution with suspended particles less than ten micrometers in size (PM10) on the street and road network of cities]. *Ehkologiya i promyshlennost Rossii*. 2019; Vol. 23. No. 7: 48-51. (In Russ.) DOI: 10.18412/1816-0395-2019-7-48-51

19. Tretyak L. N., Volnov A. S. [Assessment of the environmental safety of road traffic flows based on the concentration of dispersed particles, taking into account their particle size distribution (by the example of Orenburg)]. *Intellekt. Innovacii. Investicii* [Intelligence. Innovation. Investments]. 2022; 2: 134-147. (In Russ.) DOI: 10.25198/2077-7175-2020-2-134

20. Yanush D. N., Vol'nov A. S. [Proposals for environmental monitoring of particulate concentrations in the roadside territory of Orenburg highways]. *Nauchnoe obozrenie. Pedagogicheskie nauki*. 2019; 3-4: 125-130. [https://elibrary.ru/download/elibrary\\_38506384\\_86919076.pdf](https://elibrary.ru/download/elibrary_38506384_86919076.pdf)

21. Aslam A., Ibrahim M., Shahid I., Mahmood A., Irshad M., Yamin M., Ghazala, Tariq M., Shamshiri R. Pollution characteristics of particulate matter (PM<sub>2.5</sub> and PM<sub>10</sub>) and constituent carbonaceous aerosols in a south asian future megacity. *Applied Sciences* (Switzerland). 2020; 10(24): 1-17.

22. Lozhkin V., Gavkalyuk B., Lozhkina O., Evtukov S., Ginzburg G. Monitoring of extreme air pollution on ring roads with PM<sub>2.5</sub> soot particles considering their chemical composition (case study of Saint Petersburg). *Transportation Research Procedia*. 2020; Vol. 50: 381-388. DOI: 10.1016/j.trpro.2020.10.045

23. Lozhkin V., Lozhkina O., Rogozinsky G., Malygin I. On information technology development for monitoring of air pollution by road and water transport in large port cities. *Modern information technology and IT education. SITITO 2018. Communications in computer and information science*. 2020; Vol. 1201: 384-396.

24. Lozhkina O., Rogozinsky G., Lozhkin V., Malygin I., Komashinsky, V. Smart technologies for decision-support in the management of environmental safety of transportation in big port cities. *Marine intellectual technologies*. 2020; Vol. 1. No. 2 (48): 125-133.

25. Lozhkina O., Lozhkin V., Seliverstov S., Kripak, M. Forecasting of dangerous air pollution by cruise ships and motor vehicles in the areas of their joint influence in Sevastopol, Vladivostok and St. Petersburg. *Water and Ecology*. 2020; 1 (81): 38-50.

26. Perez P. Combined model for PM<sub>10</sub> forecasting in a large city. *Atmospheric Environment*. 2012; Vol. 60: 271-276. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2012.06.024>

27. Suleimanov I. F., Moskova E. V., Sabirov R. G., Kalimullin R. F., Filippov A. A. Organization of vehicle traffic based on environmental monitoring of the air basin. *Amazonia Investiga*. 2018; Vol. 7. No 15: 214-221.

28. Tripathi P, Deng F, Scruggs AM, Chen Y, Huang SK. Variation in doses and duration of particulate matter exposure in bronchial epithelial cells results in upregulation of different genes associated with airway disorders. *Toxicol In Vitro*. 2018; Vol. 51: 95-105.

29. Wu S., Deng F. Blood pressure changes and chemical constituents of particulate air pollution: results from the Healthy Volunteer Natural Relocation (HVNR) Study. *Environmental Health Perspectives*. 2013; Vol. 121. No. 1: 66-72. DOI: 10.1289 / ehp.1104812

30. Yang X, Feng L, Zhang Y, Hu, H, Shi Y, Liang S. Cytotoxicity induced by fine particulate matter

(PM<sub>2.5</sub>) via mitochondria-mediated apoptosis pathway in human cardiomyocytes. *Ecotoxicol Environ Saf*. 2018; Vol. 161: 198-207. DOI: 10.1007 / s11356-021-12431-w

31. Filippov A. A., Sulejmanov I. F., Arslanov M. A. [Theoretical foundations of an integrated approach to assessing the environmental hazard of vehicles in an urbanized area]. *Intellekt. Innovacii. Investicii* [Intelligence. Innovation. Investments]. 2019; No. 1:97-103. (In Russ.) DOI: 10.25198/2077-7175-2019-1-97

## ВКЛАД СОАВТОРОВ

*Вклад Бондаренко Е. В. Составляет 25% и заключается в научном руководстве и консультировании при написании статьи.*

*Вклад Филиппова А. А. Составляет 25% и заключается в написании статьи.*

*Вклад Сулейманова И. Ф. Составляет 25% и заключается в написании статьи.*

*Вклад Минатуллаева Ш. М. Составляет 25% и заключается в написании статьи.*

## COAUTHORS' CONTRIBUTION

*Elena V. Bondarenko. 25% contribution, scientific guidance and advice when writing an article.*

*Andrei A. Filippov. 25% contribution, writing an article.*

*Ilnar F. Suleymanov. 25% contribution, writing an article.*

*Shamil M. Minatullayev. 25% contribution, writing an article.*

## ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

*Бондаренко Елена Викторовна – д-р техн. наук, проф., проф. кафедры технической эксплуатации и ремонта автомобилей.*

*Филиппов Андрей Александрович – канд. техн. наук, доц. кафедры технической эксплуатации и ремонта автомобилей.*

*Сулейманов Ильнар Фаргатович – канд. техн. наук, доц. кафедры химии и экологии.*

*Минатуллаев Шамиль Минатуллаевич – канд. техн. наук, доц. кафедры технической эксплуатации автомобилей.*

## INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

*Elena V. Bondarenko – Dr. Sci., Professor, Professor of the Technical Operation and Car Repairs Department.*

*Andrei A. Filippov – Cand. of Sci., Associate Professor of the Technical Operation and Car Repairs Department.*

*Ilnar F. Suleymanov – Cand. of Sci., Associate Professor of Chemistry and Ecology Department, .*

*Shamil M. Minatullayev – Cand. of Sci., Associate Professor of the Technical Operation and Car Repairs Department.*