

ТРАНСПОРТ

УДК 504:656.13:502.3.054, 504.064.36

DOI: 10.25198/2077-7175-2021-5-72

ОСОБЕННОСТИ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОЗДУХА ДИСПЕРСНЫМИ ЧАСТИЦАМИ УРБАНИЗИРОВАННОЙ ТЕРРИТОРИИ «ИННОКАМ»

А. А. Филиппов

Оренбургский государственный университет, Оренбург, Россия
e-mail: aafilippov1979@gmail.com

И. Ф. Сулейманов

Казанский (Приволжский) федеральный университет, Набережные Челны, Россия
e-mail: ecolog_777@mail.ru

С. Н. Якунин

Оренбургский государственный университет, Оренбург, Россия
e-mail: zepat@yandex.ru

Аннотация. Сочетание факторов, определяющих уровень атмосферного загрязнения, приоритетной вредной составляющей которого являются дисперсные частицы, имеет случайный и уникальный для урбанизированной территории «ИнноКам» характер. Поэтому для исследования процесса загрязнения атмосферы данной урбанизированной территории использован подход, учитывающий, что содержание в воздухе дисперсных частиц, имеющих автотранспортное и промышленное происхождение, зависит от характера протекания процессов взмётывания, распространения и осаждения, которые определяются фракционным составом частиц, структурно-функциональными параметрами автотранспортных потоков, природно-климатическими и урбанистическими особенностями территории и метеоусловиями. Целью исследования является раскрытие закономерностей загрязнения воздуха урбанизированной территории «ИнноКам» дисперсными частицами, что актуально и необходимо для эффективной реализации мероприятий по созданию благоприятной и комфортной городской среды, а также привлекательности инновационного-производственного центра для приезжих специалистов и инвесторов.

Исследованы закономерности загрязнения воздуха урбанизированной территории «ИнноКам» дисперсными частицами, которое формируется при наложении загрязнения от автотранспортных потоков на загрязняющий фон промышленных предприятий. Автотранспортные потоки являются одновременно и самостоятельными источниками образования дисперсных частиц, и источником взмётывания и распространения дисперсных частиц на значительные расстояния за пределы автомобильных дорог.

Для раскрытия закономерностей и получения соответствующих математических моделей использованы как инструментальные методы, основанные на измерении содержания дисперсных частиц ДЧ 10 и ДЧ 2,5 в атмосфере исследованной урбанизированной территории, так и статистический анализ экспериментальных данных.

Получены математические модели, которые с высокой степенью достоверности описывают закономерности загрязнения воздуха дисперсными частицами для урбанизированной территории «ИнноКам», что является научной ценностью полученных результатов.

Практическая значимость полученных результатов заключается в их использовании для прогнозирования и составления карт загрязнения воздуха дисперсными частицами на всех участках урбанизированной территории «ИнноКам» с целью разработки и обоснования мероприятий по созданию благоприятной и комфортной городской среды. Основные мероприятия проанализированы и разделены на три группы, исходя из специфики источников образования дисперсных частиц (автотранспортные средства, автотранспортные потоки, автомобильные дороги). Ранжирование мероприятий по эффективности сокращения загрязнения воздуха дисперсными частицами является объектом дальнейшего исследования.

Ключевые слова: урбанизированная территория, дисперсные частицы, загрязнение воздуха, автотранспортные потоки.

Для цитирования: Филиппов А. А., Сулейманов И. Ф., Якунин С. Н. Особенности загрязнения воздуха дисперсными частицами урбанизированной территории «ИнноКам» // Интеллект. Инновации. Инвестиции. – 2021. – № 5. – С. 72–80. DOI: 10.25198/2077-7175-2021-5-72.

FEATURES OF AIR POLLUTION BY DISPERSED PARTICLES OF THE URBANIZED TERRITORY OF «INNOKAM»

A. A. Filippov

Orenburg State University, Orenburg, Russia
e-mail: aafilippov1979@gmail.com

I. F. Suleimanov

Kazan (Volga region) Federal University, Naberezhnye Chelny, Russia
e-mail: ecolog_777@mail.ru

S. N. Yakunin

Orenburg State University, Orenburg, Russia
e-mail: zepat@yandex.ru

Abstract. *The combination of factors that determine the level of atmospheric pollution, the priority harmful component of which is dispersed particles, has a random and unique character for the urbanized territory of «InnoKam». Therefore, to study the process of atmospheric pollution of this urbanized territory, an approach was used that takes into account that the content in the air of dispersed particles of motor transport and industrial origin depends on the nature of the processes of upsurge, propagation and deposition, which are determined by the fractional composition of particles, structural and functional parameters of road traffic flows., climatic and urban features of the territory and meteorological conditions. The aim of the study is to reveal the patterns of air pollution in the urbanized territory of «InnoKam» with dispersed particles, which is relevant and necessary for the effective implementation of measures to create a favorable and comfortable urban environment, as well as the attractiveness of the innovation and production center for visiting specialists and investors.*

Regularities of air pollution in the urbanized territory of «InnoKam» by dispersed particles, which is formed when pollution from road traffic flows are superimposed on the polluting background of industrial enterprises, have been investigated. Motor transport streams are both independent sources of the formation of dispersed particles, and a source of upsurge and spread of dispersed particles over considerable distances beyond the boundaries of highways.

To reveal the regularities and obtain the corresponding mathematical models, both instrumental methods based on measuring the content of dispersed particles DCh 10 and DCh 2.5 in the atmosphere of the investigated urbanized territory, and statistical analysis of experimental data were used.

Mathematical models have been obtained that, with a high degree of reliability, describe the regularities of air pollution by dispersed particles for the urbanized territory of «InnoKam», which is the scientific value of the results obtained.

The practical significance of the results obtained lies in their use for predicting and compiling air pollution maps with dispersed particles in all parts of the urbanized territory of «InnoKam» in order to develop and substantiate measures to create a favorable and comfortable urban environment. The main activities are analyzed and divided into three groups, based on the specifics of the sources of formation of dispersed particles (vehicles, traffic flows, highways). The ranking of measures for the effectiveness of reducing air pollution by dispersed particles is the object of further research.

Key words: *urbanized area, particulate matter, air pollution, traffic flows.*

Cite as: Filippov, A. A., Suleimanov, I. F., Yakunin, S. N. [Features of air pollution by dispersed particles of the urbanized territory of «InnoKam»]. *Intellekt. Innovatsii. Investitsii* [Intellect. Innovations. Investments]. Vol. 5, pp. 72–80. DOI: 10.25198/2077-7175-2021-5-72.

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 – задача, которая для своего решения

требует подхода, опирающегося на исследования функционирования системы, включающей автомобильный транспорт и промышленные предприятия, на ограниченных перенаселённых площадях со специфическими природно-климатическими условиями при наложении градостроительных, природоохранных и других ограничений [14].

Под описанные выше характеристики полностью попадает урбанизированная территория «ИнноКам»¹. Загрязнение воздуха данной территории входит в список важнейших проблем Республики Татарстан, требующих приоритетного решения, от оперативности и эффективности которого зависит благополучие и здоровье населения, а также привлекательность инновационного-производственного центра для приезжих специалистов и инвесторов.

«ИнноКам» концентрирует крупные промышленные предприятия нефтепереработки, нефтехимии, производства автокомпонентов и автомобилестроения, которые расположены на территории 6 муниципальных районов Республики Татарстан: Нижнекамского, Елабужского, Менделеевского, Заинского, Тукаевского районов и городского округа Набережные Челны. Индустриально развитые районы пронизаны сетью автомобильных дорог, имеющих федеральное и республиканское значение. Данный промышленно-транспортный комплекс функционирует как система, воздействие которой на окружающую среду определяется наложением загрязнений от автотранспортных потоков на загрязняющий фон промышленных предприятий [14, 16]. Образование, распространение и рассеивание загрязнений в данной системе зависит от параметров функционирования автотранспортных потоков, промышленных предприятий и условий окружающей среды, к которым относятся: рельеф местности; особенность застройки; скорость и направление ветра; количество и временная длительность штителей; осадки; влажность воздуха; интенсивность ультрафиолетового излучения (солнечной радиации). Сочетание указанных факторов является случайным и уникальным для урбанизированной территории «ИнноКам». Поэтому для исследования загрязнения воздуха данной территории авторами предлагается подход, учитывающий рассмотренные особенности. В основе предлагаемого подхода лежит модель, в которой дисперсные частицы (ДЧ) принимаются в качестве основного загрязнителя воздуха. Газообразное загрязнение в данной модели рассматривается в виде постоянной состав-

ляющей, так как оно формируется в условиях строгих ограничений выбросов загрязняющих веществ с отработавшими газами автомобилей и промышленных предприятий. При этом содержание в воздухе ДЧ, имеющих автотранспортное и промышленное происхождение, 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 физико-химических процессов в атмосфере, ДЧ, как основной источник и катализатор вредного действия газообразного загрязнения, создаёт опасные для здоровья населения условия, механизм формирования которых изучен недостаточно. В этой связи исследования, целью которых является раскрытие закономерностей загрязнения воздуха урбанизированной территории «ИнноКам» дисперсными частицами, актуальны и необходимы для эффективной реализации мероприятий по созданию благоприятной и комфортной городской среды.

Обзор литературы

Загрязнение воздуха урбанизированной территории характеризуется наличием ДЧ различного химического и гранулометрического (фракционного) состава². 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 [1–12]. В том числе исследованы вопросы образования ДЧ при работе силовых установок транспортных средств³ [8, 12], изнашивании дорож-

¹ Распоряжение Правительства Российской Федерации от 17 июня 2016 г. № 1257-р (Об одобрении Концепции создания территориально обособленного инновационно-производственного центра «ИнноКам» и утверждении плана мероприятий по реализации).

² Чицова В. С. Повышение экологической безопасности автотранспортного комплекса путем снижения загрязнения воздуха дисперсными частицами размером менее десяти микрометров: дис. ... канд. техн. наук: 05.22.10. – М., 2016. – 166 с.

³ Махов В. З. Макрокинетика сгорания нестационарной периодической топливной струи как научная основа повышения эффективности анализа и прогнозирования воспламенения, сгорания и образования вредных веществ в дизеле: дис. ... д-р техн. наук: 01.04.17. – М., 1984. – 423 с.

ных покрытий⁴, шин [11, 12], тормозных механизмов [12, 13]. Изучены проблемы мониторинга ДЧ с учётом их гранулометрического состава, в том числе мелкодисперсных частиц (ДЧ 10 и ДЧ 2,5)^{5,6} [12, 13]. Оценён риск смертности от мелкодисперсных частиц, выбрасываемых в атмосферу промышленными предприятиями⁷. Также необходимо отметить значительный вклад зарубежных учёных в исследование данной актуальной темы [15, 17].

Рассмотренные научные результаты учтены при раскрытии закономерностей загрязнения воздуха урбанизированной территории «ИнноКам».

Методологический аппарат исследования

В ходе исследования для определения содержания ДЧ в воздухе применён инструментальный метод. Использован пылемер «GRIMM Aerosol Spectrometer 1.109».

Для измерения концентрации ДЧ выделялись участки урбанизированной территории с максимальной интенсивностью движения автотранспорта. При отборе проб фиксировались метеопараметры – направление и скорость ветра, а также

температура и влажность воздуха.

Для определения зависимости загрязнения воздуха ДЧ от структурно-функциональных параметров автотранспортных потоков, а также природно-климатических и метеорологических параметров исследуемой урбанизированной территории использован корреляционно-регрессионный анализ.

Результаты исследования

Для измерения концентрации и фракционного состава ДЧ в воздухе урбанизированной территории «ИнноКам» были выбраны 6 участков с максимальной интенсивностью автотранспортных потоков. Для оценки загрязняющего фона дополнительно были проведены измерения на участках урбанизированной территории, лишённых автомобильных дорог (в лесном массиве и парковом комплексе).

При измерении концентрации ДЧ в воздухе охватывался период времени с 8:00 до 20:00 часов. Учитывались структурно-функциональные параметры автотранспортных потоков, которые отражены в таблице 1.

Таблица 1. Материалы инвентаризации автотранспортных потоков

Точка отбора	Интенсивность движения по типу автотранспортных средств, авт. / 20 мин					
	Л	АБ	АД	ГБ	ГД	в совокупности ⁸
1. Пр-т 40 лет Победы	350	0	0	5	2	357
2. Ул. Академика Королёва	798	10	44	16	13	881
3. Пр-т Чулман	289	2	8	9	8	316
4. Пр-т Мира	1246	6	83	18	3	1356
5. Казанский пр-т	1460	2	22	80	224	1788
6. Ул. Машиностроительная	189	1	5	5	6	206
7. Лесной массив	0	0	0	0	0	0
8. Бульвар Энтузиастов (парковый комплекс)	0	0	0	0	0	0

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

Измерение выполнялось как на участках с автомобильными дорогами обычного типа (II–IV категорий) с асфальтобетонным покрытием (1–6, таблица 1), так и на участках лишённых автомобиль-

ных дорог (7–8, таблица 1). Результаты измерения использовались для расчёта средних концентраций ДЧ 10 и ДЧ 2,5 (таблица 2).

⁴ Джалилов М. Ф. Учет истирающего воздействия колес автомобилей при прогнозировании износа асфальтобетонных покрытий: дис. ... канд. техн. наук: 05.23.11. – М., 2004. – 249 с.

⁵ Барсуков О. К. Совершенствование метода мониторинга концентрации частиц ДЧ10 и ДЧ2,5 в воздухе рабочей зоны на предприятиях стройиндустрии: дис. ... канд. техн. наук: 05.26.01. – Волгоград, 2011. – 132 с.

⁶ Ильвицкий Д. Ю. Исследование атмосферных загрязнений урбанизированных территорий и развитие систем мониторинга (на примере г. Москвы): дис. ... канд. техн. наук: 25.00.36. – М., 2002. – 157 с.

⁷ Трацилова А. В. Оценка риска смертности от мелкодисперсных взвешенных частиц, выбрасываемых в атмосферу промышленными предприятиями: дис. ... канд. биол. наук: 03.00.16. – Волгоград, 1999. – 161 с.

⁸ Доля газобаллонных автотранспортных средств составляет около 5%.

Таблица 2. Концентрации ДЧ 10 и ДЧ 2,5 в точках отбора проб

Точка отбора	Средние концентрации ДЧ, мкг/м ³		ПДК _{с.с.} , мкг/м ³		Кратность превышения ПДК _{с.с.}	
	ДЧ10	ДЧ2,5	ДЧ10	ДЧ2,5	ДЧ10	ДЧ2,5
1. Пр-т 40 лет Победы	265,69	43,68	60	35	4,43	1,25
2. Ул. Академика Королёва	369,30	77,88			6,15	2,23
3. Пр-т Чулман	233,60	45,16			3,89	1,29
4. Пр-т Мира	317,73	60,35			5,30	1,73
5. Казанский пр-т	559,22	117,56			9,32	3,36
6. Ул. Машиностроительная	134,85	32,40			2,25	–
7. Лесной массив	10,15	4,79			–	–
8. Бульвар Энтузиастов (парковый комплексе)	25,79	7,33			–	–

На всех участках урбанизированной территории, где присутствовали автомобильные дороги, имеется превышение среднесуточной предельно-допустимой концентрации (ПДК_{с.с.}) по ДЧ. Причём кратность превышения ПДК_{с.с.} тем больше, чем выше интенсивность автотранспортного потока. Однако уровень загрязнения воздуха ДЧ определялся не только интенсивностью. 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 проявлялся отчётливее с увеличением доли автотранспортных средств с дизельными двигателями, которые, по сравнению с бензиновыми, выбрасывают в атмосферу значительно больше ДЧ.

На участках урбанизированной территории, где автомобильные дороги отсутствовали, превышение ПДК_{с.с.} по ДЧ наблюдалось крайне редко, но, тем не менее, имело место при неблагоприятных метеорологических условиях в часы с максимальной интенсивностью движения на соседних участках с автомобильными дорогами. Фактически уровень загрязнения на данных участках (7–8, таблица 2) необходимо рассматривать как фоновый, создаваемый близлежащими стационарными источниками и участками автомобильных дорог. Важной особенностью исследованных участков является их территориальная близость к автозаводу ПАО «КамАЗ», который представляет собой градообразующее предприятие и, одновременно, ключевой стационарный источник загрязнения воздуха ДЧ. Очевидно, что именно автозавод вносит основной вклад в формирование фонового загрязнения воздуха ДЧ на данной урбанизированной территории. При этом доля фона в общей картине загрязнения варьируется в диапазонах 2–19% и 4–23% соответственно для ДЧ 10 и ДЧ 2,5. Полученный вывод согласуется с данными о минимальном вкладе ветровой эрозии благодаря отсутствию незадернованных участков,

почвенным и природно-климатическим особенностям исследованных участков урбанизированной территории.

Исходя из полученных результатов, делаем вывод, что загрязнение воздуха исследованной урбанизированной территории формируется при наложении загрязнения от автотранспортных потоков на загрязняющий фон промышленных предприятий. Автотранспортные потоки являются одновременно и самостоятельными источниками образования ДЧ, и источником взмётывания и распространения частиц на значительные расстояния за пределы автомобильных дорог. Кроме того, на процессы взмётывания, распространения и осаждения частиц, а следовательно, их содержание в воздухе, оказывают влияние природно-климатические факторы, особенности застройки и метеорологические условия урбанизированной территории. Достоверность вывода подтверждается результатами корреляционного анализа (рисунок 1).

Значение коэффициента линейной корреляции Пирсона больше критического показывает статистическую значимость всех рассмотренных зависимостей, что позволяет выделить основные факторы, определяющие уровень загрязнения воздуха урбанизированной территории. К данным факторам относятся интенсивность автотранспортного потока, температура и влажность воздуха, а также скорость ветра.

Наиболее тесная статистическая связь наблюдается между концентрацией дисперсных частиц (ДЧ 10 и ДЧ 2,5) и интенсивностью автотранспортного потока. Коэффициент линейной корреляции Пирсона, равный соответственно 0,8064 и 0,8554, показывает положительную линейную зависимость уровня загрязнения воздуха исследованной урбанизированной территории от структурно-функциональных параметров автотранспортного потока.

Метеорологические факторы также значительно влияют на уровень загрязнения воздуха исследованной урбанизированной территории.

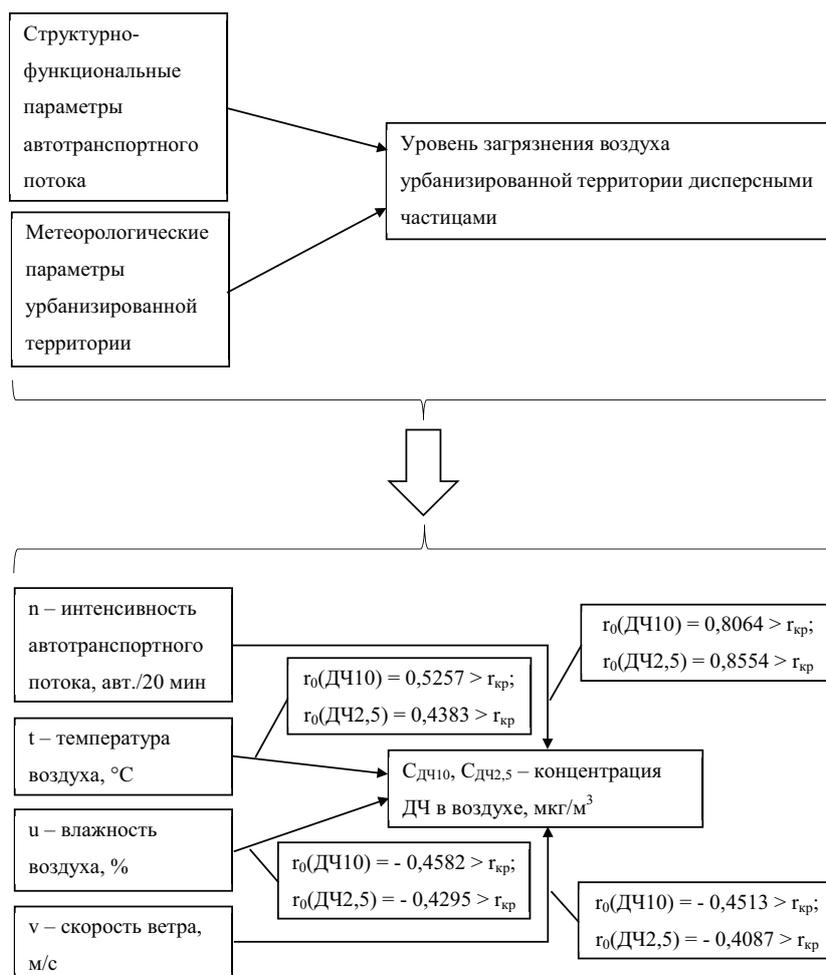


Рисунок 1. Результаты корреляционного анализа факторов, определяющих уровень загрязнения воздуха урбанизированной территории дисперсными частицами (r_0 – коэффициент линейной корреляции Пирсона; $r_{кр}$ – критическое значение коэффициента линейной корреляции Пирсона; $r_{кр} = 0,361$)

С 95 % вероятностью можно считать, что температура воздуха и концентрация дисперсных частиц (ДЧ 10 и ДЧ 2,5) связаны положительной зависимостью близкой к линейной, так как значения коэффициента Пирсона равны соответственно 0,5257 и 0,4383.

Аналогичное заключение делаем по зависимости концентрации дисперсных частиц (ДЧ 10 и ДЧ 2,5) от влажности воздуха

($r_0(\text{ДЧ}10) = -0,4582$; $r_0(\text{ДЧ}2,5) = -0,4295$) и скорости ветра ($r_0(\text{ДЧ}10) = -0,4513$; $r_0(\text{ДЧ}2,5) = -0,4087$) с той лишь разницей, что корреляция отрицательная.

Получена система уравнений регрессии, раскрывающая характер зависимости уровня загрязнения воздуха исследованной урбанизированной территории от структурно-функциональных параметров автотранспортных потоков и метеорологических условий:

$$\begin{cases} C_{\text{ДЧ}10} = 1276,08 - 22,56 \cdot t - 11 \cdot u - 118,96 \cdot v + 0,10 \cdot n \\ C_{\text{ДЧ}2,5} = 250,17 - 5,72 \cdot t - 1,98 \cdot u - 20,87 \cdot v + 0,03 \cdot n \end{cases} \quad (1)$$

Значения коэффициента детерминации R^2 , равные соответственно 0,79 и 0,83, показывают адекватность полученных моделей и правомерность их применения для описания закономерностей загрязнения воздуха дисперсными частицами исследованной урбанизированной территории.

Заключение

Исследованы закономерности загрязнения воз-

духа ДЧ для урбанизированной территории, которое формируется при наложении загрязнения от автотранспортных потоков на загрязняющий фон промышленных предприятий.

Автотранспортные потоки являются одновременно и самостоятельными источниками образования ДЧ, и источником взмётывания и распространения частиц на значительные расстояния за пределы автомобильных дорог.

Содержание в атмосфере ДЧ, имеющих автотранспортное и промышленное происхождение, 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 физико-химических процессов в атмосфере ДЧ, как основной источник и катализатор вредного действия газообразного загрязнения, создаёт опасные для здоровья населения условия. По данным Всемирной организации здравоохранения, дисперсные частицы менее десяти микрометров (ДЧ 10, ДЧ 2,5) считаются опасными загрязняющими веществами.

В ходе исследования получены математические модели, которые с высокой степенью достоверности описывают закономерности загрязнения воздуха ДЧ для урбанизированной территории, что является научной ценностью полученных результатов.

Полученные научные результаты могут быть распространены на всю урбанизированную территорию «ИнноКам», так как логика использованного авторами подхода укладывается в системные представления о формировании загрязнения воздуха ДЧ, а параметры и условия функционирования урбанизированных территорий, составляющих «ИнноКам» как систему, схожи либо идентичны. При этом под условиями и параметрами функционирования системы понимаются параметры функционирования автотранспортных потоков, промышленных предприятий и условия окружающей среды.

Практическая значимость полученных результатов заключается в их использовании для прогнозирования и составления карт загрязнения воздуха ДЧ на всех участках урбанизированной территории «ИнноКам» с целью разработки и обоснования мероприятий по созданию благоприятной и комфортной городской среды. Основные мероприятия проанализированы и разделены авторами на три группы, исходя из специфики источников образования ДЧ.

В первую группу мероприятий входит сокращение выбросов ДЧ с отработавшими газами автотранспортных средств. Перевод автомобильного транспорта на природный газ является одним из эффективных решений в данном направлении. Причём наибольший эффект достигается при отказе от мощных дизельных двигателей автобусов и грузовых автомобилей в пользу одноцилиндровных газовых, которые практически не образуют ДЧ. Важно отметить, что ПАО «КамАЗ» уже наладило выпуск подобных автотранспортных средств.

Во вторую группу мероприятий входит сокращение образования ДЧ от автотранспортных потоков за счёт организации движения автотранспортных средств не только по критериям пропускной способности и дорожной безопасности, но и экологической безопасности. Для реализации данных мероприятий следует внедрить АСУДД (автоматизированную систему управления дорожным движением), которая позволит минимизировать количество и интенсивность разгонов и торможений – режимов основного образования ДЧ при работе двигателей автотранспортных средств, изнашивании тормозных механизмов, шин, дорожного покрытия. Современные АСУДД включают также подсистему экологического мониторинга, благодаря чему осуществляется ограничение допуска автотранспортных средств путем перевода на альтернативные направления с тех участков, где обнаружено превышение ПДК.

В третью группу мероприятий входит сокращение образования ДЧ от автомобильных дорог за счёт улучшения качества дорожного покрытия и недопущения его разрушения, благоустройства прилегающих территорий озеленением, в том числе незадернованных участков, которые из-за действия ветровой эрозии могут стать мощным источником образования ДЧ. Уборка смёта с автомобильных дорог и её увлажнение также относятся к третьей группе мероприятий.

Ранжирование мероприятий по эффективности сокращения загрязнения воздуха ДЧ является объектом дальнейшего исследования.

Литература

1. Азаров В. К. Новые нормы на чёрный углерод в саже и его влияние с парниковыми газами CO_2 на потепление климата планеты // Журнал автомобильных инженеров. – 2012. – № 4 (75). – С. 54–57.
2. Азаров В. К., Кутенёв В. Ф., Степнов В. В. О выбросе твёрдых частиц автомобильным транспортом // Журнал автомобильных инженеров. – 2012. – № 6 (77). – С. 55–58.
3. Гудков В. А., Комаров Ю. Я., Федотов В. Н. Методология активного воздействия на экологическую нагрузку городского автотранспорта: монография. – Волгоград: ВолгГТУ, 2009. – 143 с.
4. 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.
5. Денисов В. Н., Федотов В. Н. Инженерный метод очистки воздушной среды городской УДС // Охрана атмосферного воздуха. Атмосфера. – 2011. – № 3. – С. 54–59.

6. 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.
7. 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. 47–76.
8. Кульчицкий А. Р. Образование дисперсных частиц при горении топлива в дизелях // Экология и промышленность России. – 2009. – № 12. – С. 35–37.
9. Рапопорт О. А., Копылов И. Д., Рудой Г. Н. К вопросу о нормировании выбросов мелкодисперсных частиц размерами менее 10 мкм (ДЧ10) и менее 2,5 мкм (ДЧ2,5) // Экологический вестник России. – 2012. – № 4. – С. 47–52.
10. Соболев А. А. К вопросу о движении частиц в воздушном потоке // Экология и промышленность России. – 2009. – № 2. – С. 22–25.
11. Третьяков О. Б., Гудков В. А., Тарновский В. Н. Шинная пыль как основной источник загрязнения окружающей среды // Шина плюс. – 2004. – № 1. – С. 2–5.
12. Трофименко Ю. В., Чижова В. С. Обоснование мероприятий по снижению риска здоровью от загрязнения воздуха взвешенными частицами размером менее десяти микрометров (PM10) на улично-дорожной сети городов // Экология и промышленность России. – 2019. – Т. 23 № 7. – С. 48–51.
13. 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.
14. 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.
15. Organization of vehicle traffic based on environmental monitoring of the air basin / Suleimanov I. F. et al // Amazonia Investiga. 2018. Vol. 7. No 15, pp. 214–221.
16. Perez P. Combined model for PM 10 forecasting in a large city // Atmospheric Environment. 2012. Vol. 60, pp. 271–276.
17. 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.

References

1. Azarov, V. K. (2012) [New standards for black carbon in soot and its effect with CO₂ greenhouse gases on global warming]. *Zhurnal avtomobilnyh inzhenerov* [Journal of automotive engineers]. Vol. 4 (75), pp. 54–57. (In Russ.).
2. Azarov, V. K., Kutenyov, V. F., Stepnov, V. V. (2012) [On the emission of solid particles from road transport]. *Zhurnal avtomobilnyh inzhenerov* [Journal of automotive engineers]. Vol. 6 (77), pp. 55–58. (In Russ.).
3. Gudkov, V. A., Komarov, Yu. Ya., Fedotov, V. N. (2009) *Metodologiya aktivnogo vozdeystviya na ehkologicheskuyu nagruzku gorodskogo avtotransporta* [Methodology of active influence on the ecological load of urban transport]. Volgograd: VolgGTU, 143 p.
4. Denisov, V. N., Zagricenko, A. V. (2010) [Microscopic solid particles as a priority type of atmospheric air pollution in megalopolises of Russia]. *Ohrana atmosfernogo vozduha. Atmosfera* [Protection of atmospheric air. Atmosphere]. Vol. 3, pp. 21–22. (In Russ.).
5. Denisov, V. N., Fedotov, V. N. (2011) [Engineering method of air purification of urban UDS]. *Ohrana atmosfernogo vozduha. Atmosfera* [Protection of atmospheric air. Atmosphere]. Vol. 3, pp. 54–59. (In Russ.).
6. Denisov, V. N., Fedotov, V. N. (2012) [Innovations in reducing environmental risks from road transport in large cities]. *Dorozhnaya derzhava* [Road power]. Special issue, pp. 89–91. (In Russ.).
7. Denisov, V. N., Kopytenkova, O. I. (2012) [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]. St. Petersburg: SPb, pp. 72–76.
8. Kulchickij, A. R. (2009) [Formation of dispersed particles during fuel combustion in diesel engines]. *Ehkologiya i promyshlennost Rossii* [Ecology and industry of Russia]. Vol. 12, pp. 35–37. (In Russ.).
9. Rapoport, O. A., Kopylov, I. D., Rudoy, G. N. (2012) [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* [Ecological bulletin of Russia]. Vol. 4, pp. 47–52. (In Russ.).

10. Sobolev, A. A. (2009) [On the question of the movement of particles in an air stream]. *Ehkologiya i promyshlennost Rossii* [Ecology and industry of Russia]. No 2, pp. 22–25. (In Russ.).
11. Tretyakov, O. B., Gudkov, V. A., Tarnovskij, V. N. (2004) [Tire dust as a major source of environmental pollution]. *Shina-plyus* [Bus plus]. Vol. 1, pp. 2–5. (In Russ.).
12. Trofimenko, Yu, V., Chizhova, V. S. (2019) [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* [Ecology and industry of Russia]. Vol. 23. No 7, pp. 48–51. (In Russ.).
13. Tretyak, L. N., Volnov, A. S. (2020) [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* [Intellect. Innovations. Investments]. Vol. 2, pp. 134–147. (In Russ.).
14. Filippov, A. A., Sulejmanov, I. F., Arslanov, M. A. (2019) [Theoretical foundations of an integrated approach to assessing the environmental hazard of vehicles in an urbanized area]. *Intellekt. Innovacii. Investicii* [Intellect. Innovations. Investments]. Vol. 1, pp. 97–103. (In Russ.).
15. Perez, P. (2012) Combined model for PM 10 forecasting in a large city. *Atmospheric Environment*. Vol. 60, pp. 271–276. (In Engl.).
16. Suleimanov, I. F. et al (2018) Organization of vehicle traffic based on environmental monitoring of the air basin. *Amazonia Investiga*. Vol. 7. No 15, pp. 214–221. (In Engl.).
17. Wu, S., Deng, F. (2013) Blood pressure changes and chemical constituents of particulate air pollution: results from the Healthy Volunteer Natural Relocation (HVNR) Study. *Environmental Health Perspectives*. Vol. 121. No 1, pp. 66–72.

Информация об авторах:

Андрей Александрович Филиппов, кандидат технических наук, доцент кафедры технической эксплуатации и ремонта автомобилей, Оренбургский государственный университет, Оренбург, Россия
ORCID ID: 0000-0002-8957-9762, **Researcher ID:** ABD-5009-2020, **Scopus Author ID:** 57205121147
e-mail: aafilippov1979@gmail.com

Ильнар Фаргатович Сулейманов, кандидат технических наук, доцент кафедры химии и экологии, Казанский (Приволжский) федеральный университет, Набережные Челны, Россия
ORCID ID: 0000-0003-0867-5574
e-mail: ecolog_777@mail.ru

Сергей Николаевич Якунин, кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры автомобильного транспорта, Оренбургский государственный университет, Оренбург, Россия
ORCID ID: 0000-0003-0437-3253
e-mail: zepat@yandex.ru

Статья поступила в редакцию: 20.07.2021; принята в печать: 22.09.2021.

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Information about the authors:

Andrey Aleksandrovich Filippov, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Technical Operation and Repair of Automobiles, Orenburg State University, Orenburg, Russia
ORCID ID: 0000-0002-8957-9762, **Researcher ID:** ABD-5009-2020, **Scopus Author ID:** 57205121147
e-mail: aafilippov1979@gmail.com

Ilnar Fargatovich Suleimanov, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Chemistry and Ecology, Kazan (Volga region) Federal University, Naberezhnye Chelny, Russia
ORCID ID: 0000-0003-0867-5574
e-mail: ecolog_777@mail.ru

Sergey Nikolaevich Yakunin, Candidate of Technical Sciences, Senior Lecturer of the Department of Automobile Transport, Orenburg State University, Orenburg, Russia
ORCID ID: 0000-0003-0437-3253
e-mail: zepat@yandex.ru

The paper was submitted: 20.07.2021.

Accepted for publication: 22.09.2021.

The authors have read and approved the final manuscript.