

УДК 504.064.38

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ГАЗОЗАЩИТНОЙ ЗЕЛЕННОЙ ЗОНЫ НА ДИСПЕРСНЫЙ СОСТАВ ПЫЛИ

Иванова Ю.П.¹, Добринская А.А.², Иванова О.О.³, Кленин И.С.⁴, Зимницкая А.О.⁵, Мензелинцева Н.В.⁶

^{1,2,3,4,5} Волгоградский государственный технический университет
400005, г. Волгоград, пр. им. Ленина, 28;

⁶ Волгоградский государственный университет
400062, г. Волгоград, просп. Университетский, 100

e-mail: ¹ypi26@mail.ru, ²sax.nastya@yandex.ru, ³dokuch26@mail.ru, ⁴kleninivan01@mail.ru,
⁵ivanova200607@mail.ru, ⁶menzelintseva@volsu.ru

Аннотация. В условиях роста урбанизации, увеличения промышленных выбросов проблема пылевого загрязнения воздушной среды городов приобретает особую актуальность. Мелкодисперсные частицы пыли представляют значительную угрозу здоровью человека, способствуя развитию респираторных и сердечно-сосудистых заболеваний. Газозащитные зеленые зоны – специально спроектированные насаждения – представляют собой сочетание биологических и инженерных подходов к снижению концентрации взвешенных веществ. В статье рассмотрено влияние газозащитных зеленых зон на изменение дисперсного состава пыли. В статье представлен анализ дисперсного состава пыли, включая распределение частиц по фракциям. Приведено распределение объемной доли частиц по их диаметру, полученное при анализе пробы, отобранной до газозащитной зеленой зоны, с помощью обработки фотографий частиц пыли программой SpotExplorer.

Цель. Изучить влияния газозащитных зеленых зон на изменение дисперсного состава атмосферной пыли, а также подтверждения данных о том, что они не только выполняет функцию естественного фильтра, снижая концентрацию, но и изменяют дисперсный состав частиц пыли.

Методы. Отобранные пробы подвергались лабораторному анализу с использованием оптического микроскопа CarlZeissAxio Scope.A1, оснащённого цифровой камерой высокого разрешения, и специализированного программного обеспечения SpotExplorer (версия 2.3).

Результаты. Проведенные исследования показали, что при прохождении газозащитной зеленой зоны изменяется дисперсный состав пыли. Уменьшается объемная доля крупных частиц. Большая часть мелких частиц PM₁₀ и PM_{2,5} проходит через газозащитную зеленую зону, что обуславливает необходимость проведения дальнейших исследований в направлении изучения механизма улавливания мелких частиц зелеными насаждениями.

Ключевые слова: газозащитные зеленые зоны, мелкодисперсная пыль, воздушные потоки, транспортные магистрали, древесно-кустарниковые насаждения, экранирование.

ВВЕДЕНИЕ

Проблема загрязнения атмосферы пылевыми частицами, образующимися в результате антропогенной деятельности человека, остается одним из ключевых экологических и общественных вызовов современности [1]. Пыль, особенно мелкодисперсная фракция (PM₁₀ и PM_{2,5}), представляет значительную угрозу для здоровья человека, способствуя развитию респираторных и сердечно-сосудистых заболеваний, а также оказывая негативное воздействие на экосистемы [2-4]. В условиях урбанизированных территорий с выраженными промышленными зонами, транспортными магистралями, где концентрация пылевых выбросов достигает критических значений, актуальным становится поиск эффективных природоохранных решений, способных минимизировать загрязнение атмосферы, в том числе мелкодисперсными частицами.

Одним из перспективных подходов к снижению пылевого загрязнения является создание газозащитных зеленых зон – специально спроектированных насаждений, выполняющих барьерную и фильтрующую функции [5]. Газозащитные зеленые зоны, благодаря своим биофизическим свойствам, способны улавливать пылевые частицы, изменять аэродинамические характеристики воздушных потоков и способствовать осаждению взвешенных веществ. Однако влияние таких зон на изменение дисперсного состава пыли, включающей частицы различных фракций, остается недостаточно изученным, что определяет необходимость проведения целенаправленных исследований в данной области [6].

Настоящая статья посвящена исследованию эффективности газозащитных зеленых зон как специфического инструмента управления качеством атмосферного воздуха. Особое внимание

уделяется анализу изменений дисперсного состава пыли под воздействием растительных барьеров, включая изучение распределения частиц по размерам.

АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ; МАТЕРИАЛОВ, МЕТОДОВ

Исследования, непосредственно посвященные влиянию газозащитных зеленых зон на дисперсный состав пыли, ограничены. Однако накопленные в результате проведенных различными авторами исследований данные подтверждают, что зеленые зоны могут эффективно снижать концентрацию пыли, особенно крупных фракций (PM_{10} и выше), за счет осаждения частиц на листьях и стволах растений [1-12]. В то же время, эффективность улавливания мелкодисперсной пыли ($PM_{2.5}$ и менее) газозащитными зелеными зонами требует детального изучения. Для более точной оценки необходимы комплексные исследования с применением современных методов и средств анализа, таких как микроскопия и аэрозольные спектрометры соответственно. Это позволит изучить закономерности процесса, на основании которых разработать рекомендации по формированию газозащитных зеленых зон [8-10].

ЦЕЛЬ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

Основной целью работы являлось изучение влияния газозащитных зеленых зон на изменение дисперсного состава атмосферной пыли, а также подтверждения данных о том, что они не только выполняет функцию естественного фильтра, снижая концентрацию, но и изменяют дисперсный состав частиц пыли.

Задачей исследования является изучение изменения дисперсного состава пылевых частиц при прохождении через газозащитную зеленую зону.

ОСНОВНОЙ РАЗДЕЛ

Газозащитные зеленые зоны, состоящие из древесно-кустарниковых насаждений, рассматриваются как эффективный инструмент экологической инженерии, способный минимизировать распространение аэрозольных загрязнителей [11, 12]. Растения, как известно, создают аэродинамические барьеры на пути движения воздушных потоков, тем самым снижают их скорость, что способствует процессам оседания частиц на поверхность листьев, стеблей, хвои. Предполагается, что растения могут существенно изменять дисперсный состав пыли, преимущественно задерживая более крупные частицы (PM_{10} и выше), в то время как более мелкие фракции ($PM_{2.5}$ и ниже) могут частично проникать через растительный барьер [13-15].

Автомобильные дороги, как источники аэрозольных частиц, генерируют значительное количество пыли, включающей как минеральные, так и органические компоненты, а также микрочастицы, образующиеся в результате износа шин, тормозных колодок и дорожного покрытия. В рамках настоящего исследования, проведенного в теплое время года (с мая по сентябрь 2024 года), на территории Ворошиловского района г. Волгограда по ул. Калинина был осуществлён отбор проб пыли с горизонтальных поверхностей в двух зонах: непосредственно перед газозащитной зеленой зоной, расположенной вблизи автомобильной дороги с интенсивным движением, и за ней.

Отбор проб пыли проводился с использованием стандартизированных методов, включающих сбор осажённой пыли с горизонтальных поверхностей в двух зонах: на расстоянии 1–2 метров перед зеленой зоной (вблизи обочины дороги) и на расстоянии 5–10 метров за ней (рис. 1). Для обеспечения репрезентативности данных отбор проб осуществлялся в течение нескольких дней с учётом метеорологических условий, таких как скорость и направление ветра, влажность воздуха и отсутствие осадков, которые могли бы повлиять на распределение пыли [17]. Отобранные пробы подвергались лабораторному анализу с использованием оптического микроскопа CarlZeissAxio Scope.A1, оснащённого цифровой камерой высокого разрешения, и специализированного программного обеспечения SpotExplorer (версия 2.3).

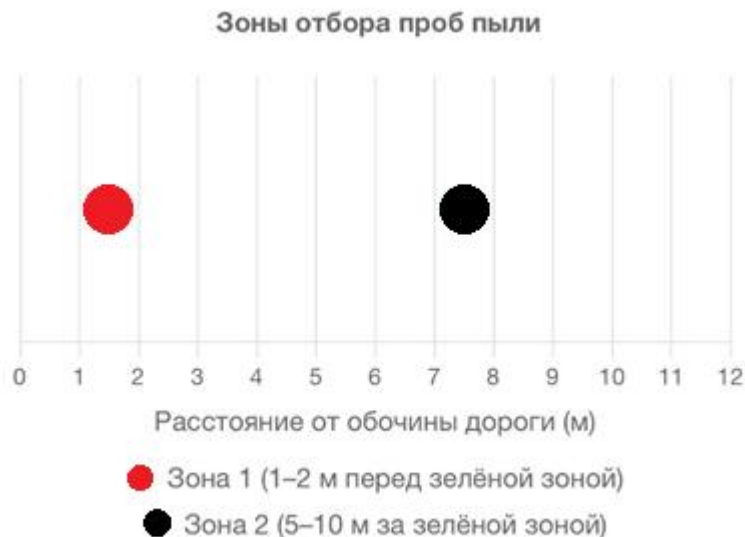


Рис. 1. Схема расположения зон отбора проб пыли относительно обочины дороги

Данный подход позволил получить детализированные изображения частиц пыли (рис. 2), которые использовались для анализа их морфологии, размеров.

Анализ с помощью оптического микроскопа и программы SpotExplorer обеспечил высокую точность в определении дисперсного состава пыли, включая распределение частиц по фракциям (от PM_{10} до PM_{100}). Программа SpotExplorer автоматически классифицировала частицы по их размеру, форме и оптическим характеристикам, что позволило выделить ключевые различия в дисперсном составе пыли до и после прохождения через зеленую зону.

Например, анализ фотографий, приведенных на рис.2 и 3 показал, что перед газозащитной зеленой зоной в пробе преобладают частицы размером 10–50 мкм, тогда как доля таких частиц в пробе существенно снижается, что подтверждает фильтрующую функцию зеленой зоны. Кроме того, были отмечены различия в форме частиц: в пробах, отобранных перед газозащитной зеленой зоной, чаще встречались угловатые частицы [18-21].



Рис. 2. Фотография частиц пыли в пробе, отобранной до газозащитной зеленой зоны



Рис. 3. Фотография частиц пыли в пробе, отобранной после газозащитной зеленой зоны

На рис.4 приведено распределение объемной доли частиц по их диаметру, полученное при анализе пробы, отобранной до газозащитной зеленой зоны, с помощью обработки фотографий частиц пыли программой SpotExplorer.

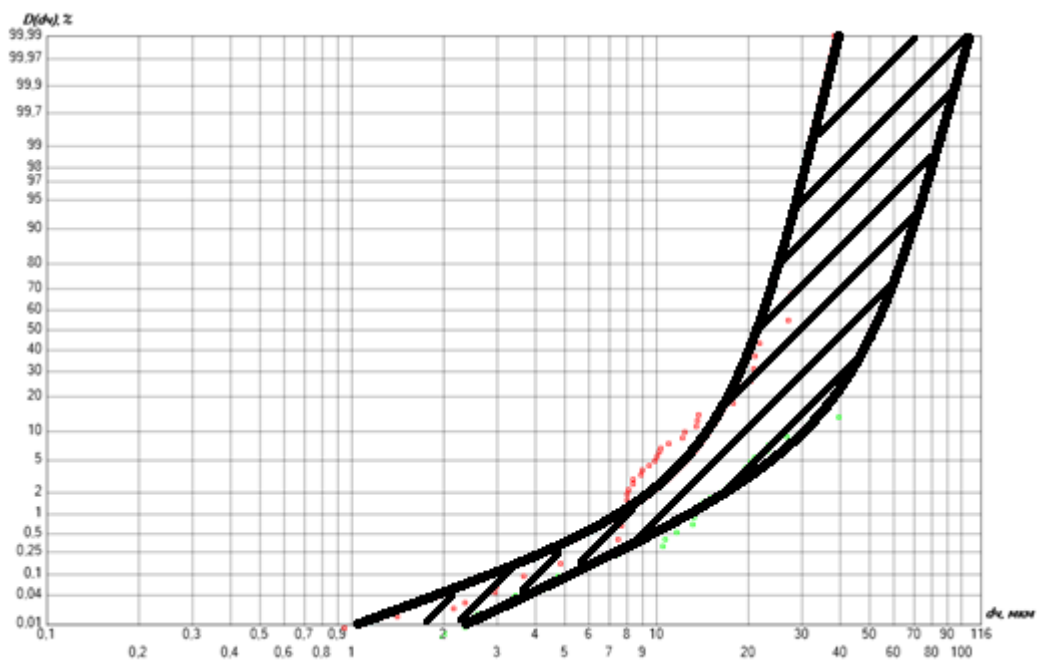


Рис. 4. Распределение объемной доли частиц по их диаметру, полученное при анализе пробы, отобранной до газозащитной зеленой зоны

Анализ рис. 4 позволил установить диапазон изменения размеров частиц от самых мелких 1,1 мкм до самых крупных 105 мкм. Медианный диаметр составляет $m_d = 35$ мкм.

Анализ рис.5, показывает, что размеры частиц, содержащихся в пробе, отобранной после газозащитной зеленой зоны, изменяются в диапазоне от 1,1 мкм до 45 мкм. Медианный диаметр составляет $m_d = 18$ мкм.

Проведенные анализ показал, что в пробах воздуха, отобранных перед зелеными насаждениями, преобладают крупные частицы.

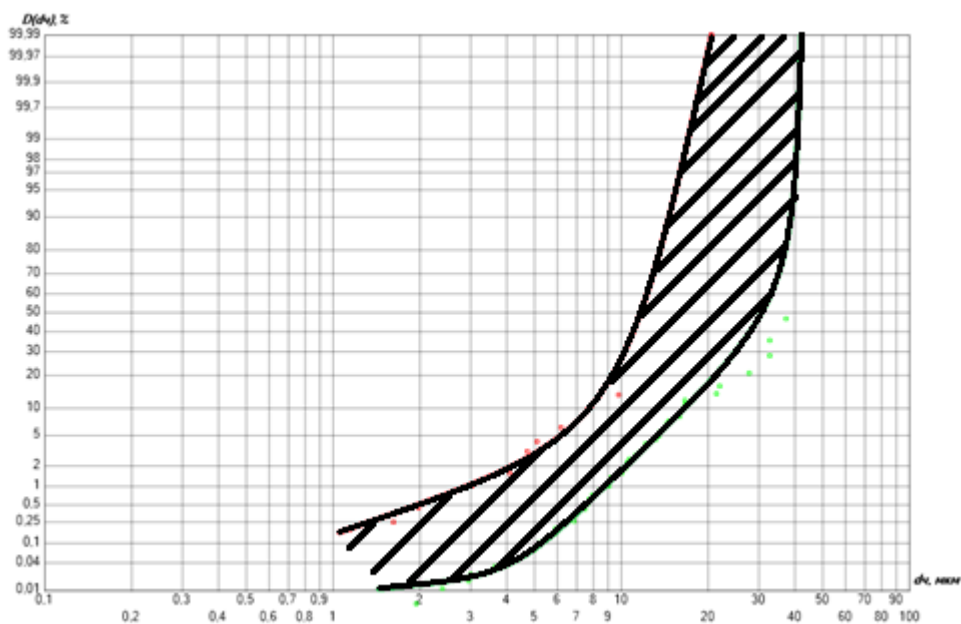


Рис. 5. Распределение объемной доли частиц по их диаметру, полученное при анализе пробы, отобранной после газозащитной зеленой зоны

ВЫВОДЫ

1. Проведенные исследования показали, что при прохождении газозащитной зеленой зоны изменяется дисперсный состав пыли. Уменьшается объемная доля крупных частиц. Большая часть мелких частиц PM_{10} и $PM_{2,5}$ проходит через газозащитную зеленую зону, что обуславливает необходимость проведения дальнейших исследований в направлении изучения механизма улавливания мелких частиц зелеными насаждениями.

2. Применение результатов: полученные результаты могут быть использованы как основа для разработки методических рекомендации по организации и благоустройству зеленых зон.

ПЕРСПЕКТИВЫ ДАЛЬНЕЙШИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

На основе выводов, представленных в статье, можно выделить следующие направления для дальнейших исследований, направленных на углубление понимания влияния газозащитных зеленых зон на дисперсный состав пыли и повышение их эффективности как экологического барьера:

- анализ влияния морфологических характеристик растений (например, шероховатости листьев, плотности кроны, наличия ворсинок);
- исследование влияния состава газозащитной зеленой зоны на изменение дисперсного состава пыли;
- оценку влияния сезонных изменений (листопад, влажность листьев) на фильтрующую способность газозащитных зеленых зон.

ЛИТЕРАТУРА

1. Буренин, Н.С. К оценке выбросов автотранспорта в атмосферу и загрязнения воздуха вблизи автомагистралей [Текст] / Н.С. Буренин, Р.И. Оникул, И.И. Соломатина // Труды Главной геофизической обсерватории им. А.И. Воейкова. – 1997. – № 436. – С. 102.

2. Ветрова, Н.М. Экологическая безопасность урбанизированных рекреационных территорий в зоне влияния объектов транспортного строительства / Н.М. Ветрова, Т.В. Вереха, Э.Э. Меннанов, Д.В. Судьева // Экономика строительства и природопользования. – 2022. – № 1-2(82-83). – С. 145-151.

3. Сидельникова, О.П. Зависимость концентрации мелкодисперсной пыли на бордюре проезжей части от воздействия внешних факторов / О.П. Сидельникова, Ю.П. Иванова, О.О. Иванова, А.А. Сахарова, Р.А. Лясин, М.Д. Азарова // Инженерный вестник Дона. – 2022. – № 9. – 7 с. – URL: <http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/%20n9y2022/7882>.
4. Николенко, Д.А. О влиянии градостроительных решений и зеленых газозащитных зон на качество воздушной среды примыкающих территорий / Д.А. Николенко, А.Н. Васильев, Ю.П. Иванова, А.А. Сахарова, О.О. Иванова, В.Н. Азаров, А.А. Чернущенко // Инженерный вестник Дона. – 2022. – № 2. – 10 с. – URL: <http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2022/7441>.
5. Иванова, Ю.П. Основные факторы, влияющие на концентрацию мелкодисперсной пыли на придорожных территориях линейного города / Ю.П. Иванова, Т.В. Соловьева, А.А. Сахарова, О.О. Иванова, Д.М. Лепехина, О.П. Сидельникова // Инженерный вестник Дона. – 2022. – № 8. – 8 с. – URL: <http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/n8y2022/7874>.
6. Иванова, Ю.П. Проверка применимости закона распределения мелкодисперсной пыли для различных категорий дорог / Ю.П. Иванова, Е.О. Брызгина, Т.В. Соловьева, А.А. Сахарова, О.О. Иванова, М.Д. Азарова // Инженерный вестник Дона. – 2022. – № 9. – 11 с. – URL: <http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/%20n9y2022/7885>.
7. Зайцева, Н.В. Анализ дисперсного и компонентного состава пыли для оценки экспозиции населения в зонах влияния выбросов промышленных стационарных источников / Н. В. Зайцева, И. В. Май, А. А. Макс, С. Ю. Загороднов // Гигиена и санитария. – 2013. – Т. 92, № 5. – С. 19-23.
8. Kokoulin, A.N. Multiscale Optical PM2.5 Particles Recognition and Sorting System in Dust Probes / A.N. Kokoulin, A.A. Yuzhakov, R.A. Kokoulin // 2020 5th International Conference on Smart and Sustainable Technologies (SpliTech), Croatia, 2020, – pp. 1–6. DOI: 10.23919/SpliTech49282.2020.9243759
9. Cohen, A.J. Estimates and 25-year trends of the global burden of disease attributable to ambient air pollution: an analysis of data from the Global Burden of Diseases Study 2015 / A.J. Cohen, M. Brauer, R. Burnett, et al. // TheLancet, 2017. – Vol. 389, Issue 10082. – pp. 1907–1918. DOI: 10.1016 S0140-6736(17)30505-6
10. Шелмаков, С. В. Борьба с загрязнением атмосферы дисперсными частицами на автомобильном транспорте / С. В. Шелмаков, Ю. В. Трофименко, А. В. Лобиков. – Москва: Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ), 2018. – 164 с. – ISBN 978-5-7962-0235-7.
11. Растяпина, О. А. Совершенствование методов проектирования городских газозащитных зеленых зон от выбросов автотранспорта [Текст] :дис. ... канд. техн. наук / Растяпина О. А. — Волгоград, 2003.
12. Полковникова, Л. С. Влияние дендрологического состава зеленых насаждений на оптимизацию городской среды [Текст] / Л. С. Полковникова, Ю. П. Иванова // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Сер.: Строительствоархитектура. – 2009. – Вып. 15 (34). – С. 206-209. – Библиогр.: с. 209 (3 назв.)
13. Barikayeva, N. About Forecasting Air Pollution in the Construction of Highways / N. Barikayeva, D. Nikolenko, J. Ivanova // International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern technologies (2-4 October 2018, Vladivostok, Russian Federation). URL: iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/463/4/042016/pdf.
14. Semerjian, L.; Okaiyeto, K.; Ojemaye, M.O.; Ekundayo, T.C.; Igwaran, A.; Okoh A.I. Global Systematic Mapping of Road Dust Research From 1906 to 2020: Research Gaps and Future Direction. Sustainability 2021, 13, 11516. URL: doi.org/10.3390/su132011516.
15. Аксенов, И.Я. Транспорт и охрана окружающей среды / И.Я. Аксенов, В.И. Аксенов. – М.: Транспорт, 2012. – 175 с.
16. Шеина, С.Г., Совершенствование методов организационно-технологического проектирования при реконструкции городской застройки с учетом экологических факторов / С.Г. Шеина, Л.В. Гиря // Инженерный вестник Дона, 2011. – №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2011/703.
17. Mokhtari, M. Assessment of Air Quality Index and Health Impact of PM10, PM2.5 and SO2 in Yazd, Iran / M. Mokhtari, M. Miri, A. Mohammadi, H. Khorsandi, Y. Hajizadeh, A. Abdolhnejad // Journal of Mazandaran University of Medical Sciences, 2015. – pp. 14–23. DOI: 10.1080/10807039.2018.1487277
18. Азаров, В. Н. Дисперсный анализ методом микроскопии с применением ПЭВМ / В. Н. Азаров, А. В. Ковалева, Н. М. Сергина // Экологическая безопасность и экономика городских и

теплоэнергетических комплексов : Материалы Международной научно-практической конференции, Волгоград, 18–20 мая 1999 года. – Волгоград: Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет, 1999. – С. 76-78.

19. Hygienic Assessment of PM10 and PM2.5 Contents in the Atmosphere and Population Health Risk in Zones Influenced by Emissions from Stationary Sources Located at Industrial Enterprises / I.A. Prosviryakova, L.M. Shevchuk // *Health Risk Analysis*, 2018. – Vol. 2. – pp. 14–22. DOI: 10.21668/health.risk/2018.2.02

20. Künzli N., Kaiser R., Medina S., Studnicka M., Chanel O., Filliger P., Herry M., Sommer H. Public-Health Impact of Outdoor and Traffic-Related Air Pollution: A European Assessment. / N. Künzli, R. Kaiser, S. Medina, M. Studnicka, O. Chanel, P. Filliger, M. Herry, H. Sommer // *The Lancet*, 2000 – Vol. 356, Issue 9232. – pp. 795–801. DOI: 10.1016/S0140-6736(00)02653-2

21. Chen G., Li S., Zhang Y., Zhang W., Li D., Wei X., He Y., Bell M.L., Williams G., Marks G.B., Jalaludin B., Abramson M.J., Guo Y. Effects of Ambient PM1.0 and PM2.5 on Lung Function Among Children in China: A Panel Study. *Environmental Health Perspectives*, 2018. – Vol. 126, Issue 7. – pp. 077002. DOI: 10.1289/EHP2757

INVESTIGATION OF THE EFFECT OF A GAS-PROTECTED GREEN ZONE ON THE DISPERSED COMPOSITION OF DUST

¹Ivanova Yu.P., ²Dobrinskaya A.A., ³Ivanova O.O., ⁴Klenin I.S., ⁵Zimnitskaya A.O.,
⁶Menzelintseva N.V.

^{1,2,3,4,5} Volgograd State Technical University

⁶ Volgograd State University

Annotation. In the context of growing urbanization and increasing industrial emissions, the problem of dust pollution in urban air has become particularly relevant. Fine dust particles pose a significant threat to human health, contributing to the development of respiratory and cardiovascular diseases. Gas-protective green zones, which are specially designed plantations, represent a combination of biological and engineering approaches to reducing the concentration of suspended particles. This article explores the impact of gas-protective green zones on the dispersion of dust. It presents an analysis of the dispersion of dust, including the distribution of particles by size. The distribution of the volume fraction of particles by their diameter, obtained by analyzing a sample taken before the gas-protective green zone, using the SpotExplorer program to process photographs of dust particles.

Key words: gas-protective green zones, fine dust, air currents, transport routes, tree and shrub plantations, and shielding.