

## Оценка загрязнения воздушной среды придорожных территорий транспортных магистралей

Д.А. Николенко<sup>1</sup>, Е.И. Шевцов<sup>2</sup>, В.Н. Азаров<sup>3</sup>, Р.А. Лясин<sup>3</sup>,

Ф.Г. Антонов<sup>3</sup>, А.В. Дериченко<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Донской государственный технический университет

<sup>2</sup>ООО "НВЭК-ПБ"

<sup>3</sup>Волгоградский государственный технический университет

**Аннотация:** В статье произведена оценка воздействия автомобильного транспорта на загрязнение воздушной среды придорожных территорий крупной транспортной магистрали г. Волгограда. Дорожно-автомобильный комплекс вносит существенный вклад в загрязнение воздушной среды твёрдыми частицами, значительно превышая фоновое значение. Одним из критериев оценки воздействия пылевых частиц на воздушную среду, по данным Всемирной организации здравоохранения, является массовое содержание частиц диаметром менее 10 мкм ( $PM_{10}$ ) и 2,5 мкм ( $PM_{2,5}$ ) в атмосферном воздухе, которое нормируется на территории Российской Федерации гигиеническими нормами. Оценка фракционного состава пылевых частиц, поступающих в атмосферный воздух, осуществлялась лазерным анализатором частиц *Microtrac S3500*, концентрации счётчиком частиц *Lighthouse 3016-IAQ*. Результаты дисперсного анализа представлены в виде функции Розина–Раммлера–Шперлинга–Беннета объёмного распределения частиц по диаметрам.

**Ключевые слова:** пыль, частица, дисперсный состав, концентрация, автомобильный транспорт, атмосферный воздух, транспортная магистраль.

Автомобильный транспорт, наряду с объектами строительства и промышленными предприятиями, является основным источником загрязнения воздушной среды крупных городов мелкодисперсной пылью. На территории г. Волгограда наибольший вклад 48,8 % в загрязнение атмосферного воздуха среди рассматриваемых отраслей вносит автомобильный транспорт [1]. Воздействие автотранспортных потоков на окружающую среду многогранно. Можно выделить следующие факторы, влияющие на запылённость придорожных территорий не выхлопными [2-4] и выхлопными [2,5,6] пылевыми частицами: истирание дорожного покрытия, износ шин и тормозной системы, выхлопные газы, вторичный унос пыли.

Весь автомобильный транспорт, производимый и ввозимый на территорию Российской Федерации, подразделяется на экологические

категории. Последней актуальной нормой является экологический стандарт евро-5, действующий на территории нашей страны с начала 2016 года. Переход к новому экологическому стандарту, путём повышения экологической безопасности двигателей и используемого топлива, позволил сократить количество продуктов сгорания [7,8]. В то время, как образующиеся не выхлопные частицы во многих странах не нормируются, и уже в несколько раз превышают выбросы выхлопных газов [9]. Поэтому оценка загрязнения воздушной среды придорожных территорий пылевыми частицами является наиболее актуальной. Для достижения поставленной цели исследования необходимо решить следующие задачи:

1. Используя лазерный анализатор частиц *Microtrac S3500*, определить дисперсный состав пылевых частиц методом анализа в сухой и влажной среде.
2. Изобразить полученные результаты дисперсного анализа в виде функции Розина-Раммлера-Шперлинга–Беннета объёмного распределения пылевых частиц по диаметрам.
3. Определить концентрацию пылевых частиц  $PM_{10}$  и  $PM_{2,5}$  в зависимости от расстояния до дорожного полотна.

### **Методика проведения эксперимента**

Анализ дисперсного состава твердых частиц на придорожных территориях осуществлялось методом лазерной дифракции [10]. Анализатор частиц *Microtrac S3500* обладает погрешностью измерения менее 1 %, что позволяет получить наиболее достоверные результаты дисперсного состава порошкового материала по сравнению с другими методами. Измерение полученных образцов осуществлялось в сухой и влажной среде с помощью контроллеров *TURBOTRAC* и *SDC*. В качестве рециркулирующей жидкости при анализе пробы во влажной среде использовалась дистиллированная вода, полученная с помощью *Liston A 1110*.

---

В зависимости от химического состава порошкового материала, перед каждым измерением устанавливается коэффициент преломления лазерного излучения, из инструкции по эксплуатации или программного обеспечения *FLEX 12.0.0.2* на вкладке *Help*, входящих в комплект поставки. Правильность подбора коэффициента преломления можно определить по среднеквадратичной погрешности (*RMS Residual*) при том условии, что она не должна превышать 1%. Для измерения концентрации пылевых частиц на придорожной территории использовался лазерный счётчик частиц *Lighthouse 3016-IAQ* [11].

Характерное для крупных городов наличие плотных транспортных потоков вызывает истирание дорожного полотна, шин, тормозных колодок, вследствие частого торможения автотранспорта. Ввиду того, что в основном загрязнение придорожных территорий пылевыми частицами определяется не выхлопными газами, а эксплуатационным износом автотранспорта [12,13].

Измерение концентрации пылевых частиц осуществлялось в непосредственной близости на бордюрном камне и на удалении от дорожного полотна при максимальной плотности транспортных потоков с 17:00-18:00 (рисунок 1).

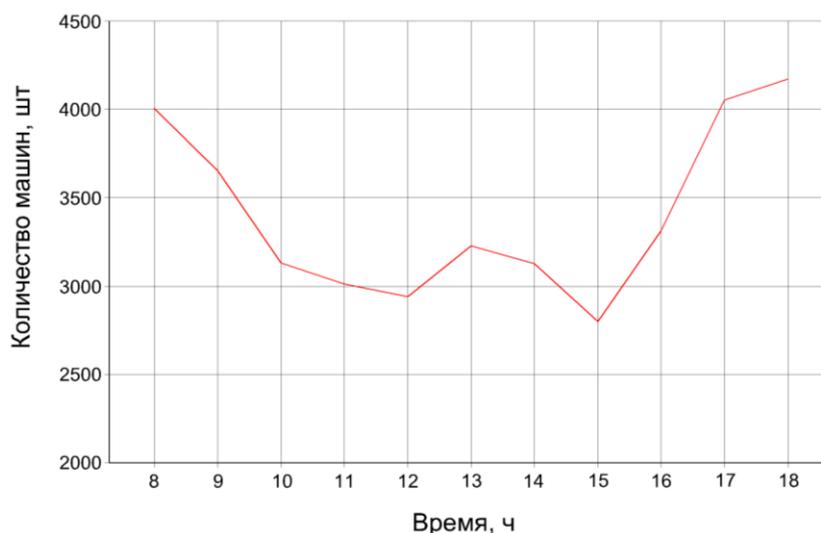


Рис. 1. – Интенсивность движения транспортных средств по первой продольной магистрали

Точки отбора проб пыли, и измерения концентрации представлены на (рисунке 2). Оранжевым цветом отмечены точки отбора пылевых проб, фиолетовым – измерения концентрации. В каждой точке измерения концентрации производилось по 10 замеров. Для каждого измерения итоговым значением принималось усреднённая величина для одной минуты отбора проб.

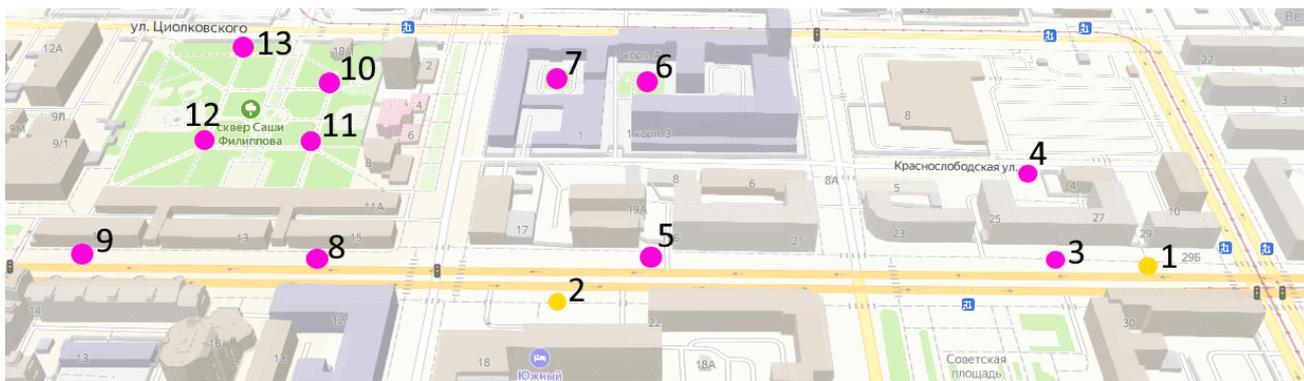


Рис. 2. – Расположение точек измерения и отбора проб

### Результаты исследований

Дисперсный состав пылевых, образующихся в результате эксплуатации дорожно-автомобильного на примагистериальных территориях, можно представить в виде функции Розина–Раммлера–Шперлинга–Беннета объёмного распределения пылевых частиц по диаметрам (рисунок 3). Для построения дисперсного состава в виде функции распределения Розина–Раммлера–Шперлинга–Беннета по оси абсцисс откладывается диаметр пылевых частиц в логарифмической шкале, а по оси ординат предельные значения массовой фракции по остатку. Пылевые пробы были отобраны с остановок общественного транспорта на высоте 1,5 м.

С помощью программы *Statistica*, по результатам экспериментальных данных концентрации пылевых частиц построены гистограммы частот интервального ряда распределения в зависимости от расстояния по первой

продольной магистрали (рисунок 4,5,6). По оси абсцисс отложены значения концентрации ( $\text{мкг}/\text{м}^3$ ), а по оси ординат - число наблюдений.

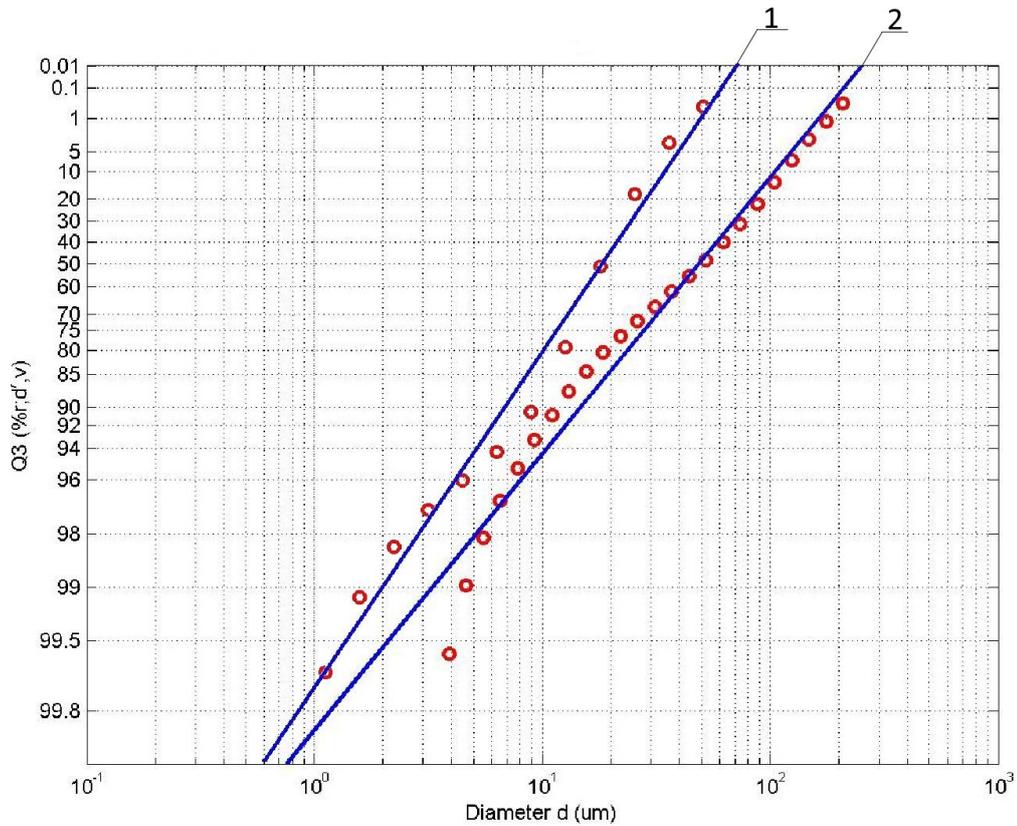


Рис. 3. – Функции Розина-Рамллера-Шперлинга-Беннета объёмного распределения пылевых частиц по диаметрам для точек №1,2

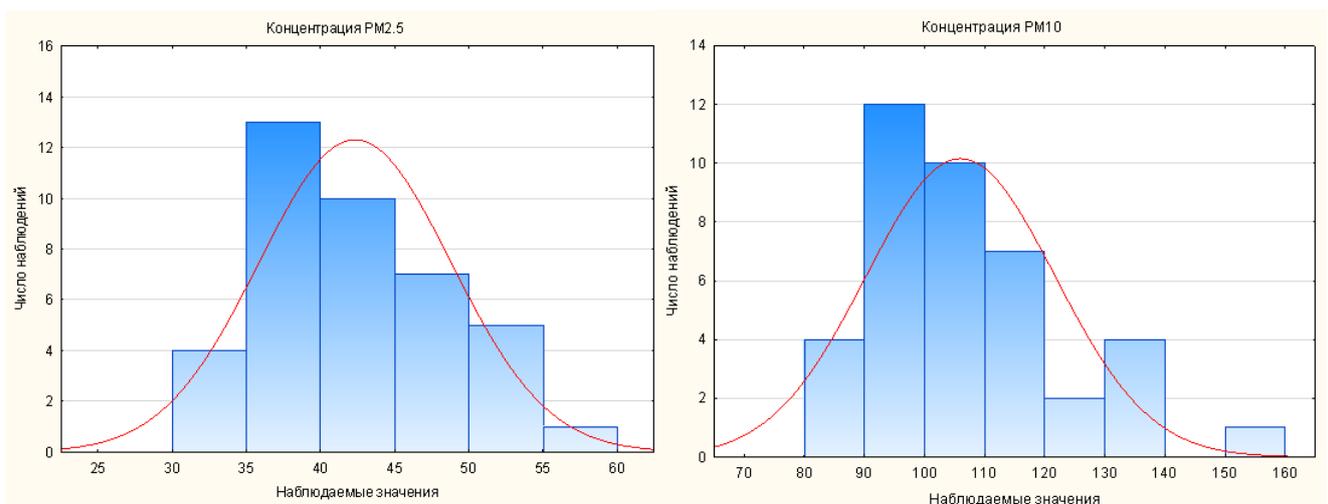


Рис. 4. – Гистограммы частот интервального ряда распределения концентрации пылевых частиц  $PM_{2,5}$  и  $PM_{10}$  у бордюрного камня (точки №3,5,8,9)

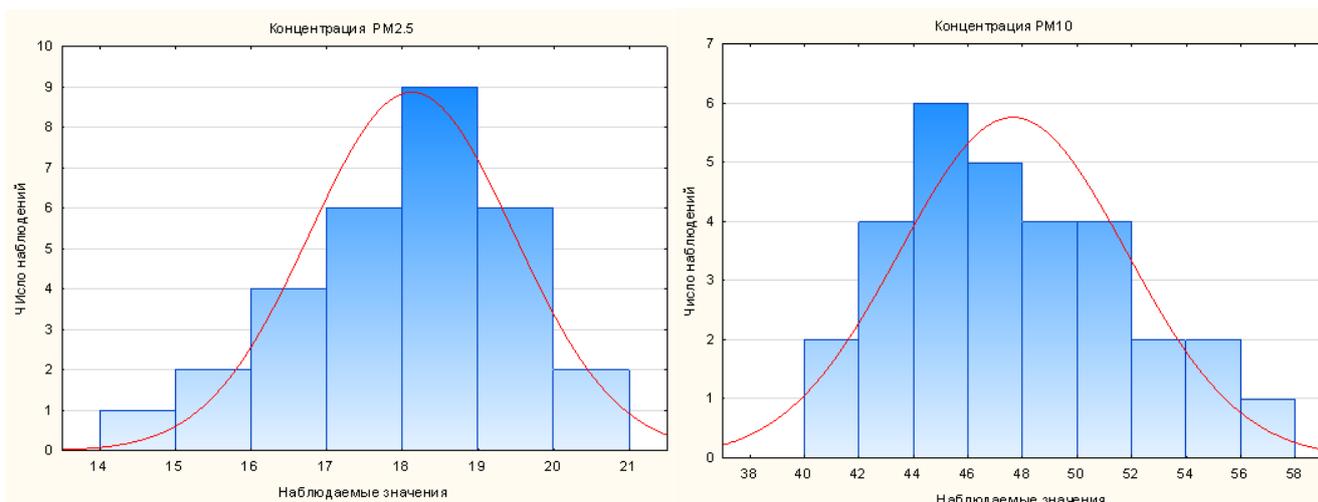


Рис. 5. – Гистограммы частот интервального ряда распределения концентрации пылевых частиц  $PM_{2,5}$  и  $PM_{10}$  на расстоянии 100 метров от первой продольной магистрали (точки №4,11,12)

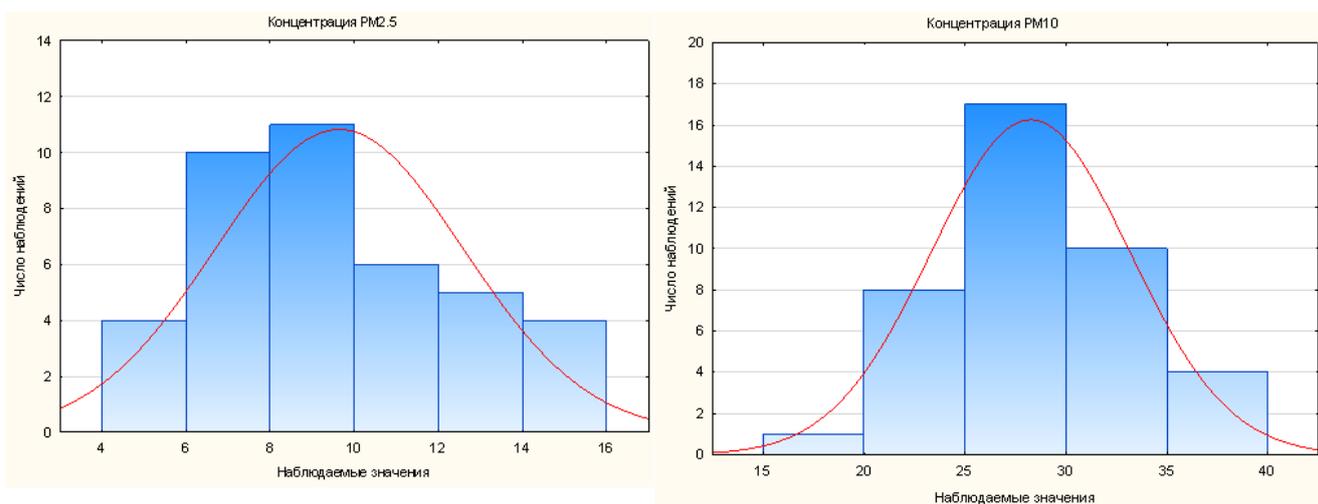


Рис. 6. – Гистограммы частот интервального ряда распределения концентрации пылевых частиц  $PM_{2,5}$  и  $PM_{10}$  на расстоянии 200 метров от первой продольной магистрали (точки №6,7,10,13)

Полученные значения сравнивались с гигиеническими нормативами ГН 2.1.6.2604-10, по которым происходит нормирование концентрации пылевых частиц  $PM_{2,5}$  и  $PM_{10}$  в атмосферном воздухе населённых мест. В соответствии с гигиеническим нормативом для частиц менее 2,5 мкм ( $PM_{2,5}$ ) максимальная-разовая концентрация составляет  $160 \text{ мкг/м}^3$ , а для частиц

менее 10 мкм ( $PM_{10}$ ) - 300 мкг/м<sup>3</sup>. Для большей наглядности в таблице №1 приведены статистические показатели гистограмм частот.

Таблица №1

Статистические данные гистограмм частот распределения  
концентрации пылевых частиц

Наименование параметров	Обозначения параметров	Точки №3,5,8,9		Точки №4,11,12		Точки №6,7,10,13	
		PM 2,5	PM 10	PM 2,5	PM 10	PM 2,5	PM 10
Среднее значение	$M_x$	42,34	105,99	20,84	47,64	9,64	28,24
Дисперсия	$D$	41,98	246,86	230,93	17,25	8,69	24,09
Среднее квадратическое отклонение	$\sigma$	6,47	15,71	15,19	4,15	2,94	4,90
Медиана	$me$	41,34	102,46	18,24	47,42	8,805	27,835

### Заключение

По результатам представленных экспериментальных данных и сравнении их с гигиеническими нормативами установлено, что максимально-разовая концентрация пылевых частиц меньше ПДК. Также, в зависимости от расстояния до первой транспортной магистрали г. Волгограда, наблюдалось снижение концентрации пылевых частиц. Так, среднее значение концентрации пылевых частиц  $PM_{10}$  на расстоянии 200 м от первой продольной магистрали снизилось на 73%, а концентрация пылевых частиц  $PM_{2,5}$  - на 77%.

### Литература

1. Барикаева Н.С., Николенко Д.А. Мониторинг пылевого загрязнения атмосферного воздуха городской среды на примере г. Волгограда // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2017. № 50. С. 182-189. URL: [elibrary.ru/item.asp?id=32321718](http://elibrary.ru/item.asp?id=32321718).

2. Николенко Д.А., Соловьева Т.В. Анализ опыта мониторинга загрязнения мелкодисперсной пылью придорожных территорий в странах ЕС



и России // Инженерный вестник Дона. 2015. № 3. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2015/3186.

3. Järllskog I., Jaramillo-Vogel. D., Rausch J., Gustafsson M., Strömvall A., Andersson-Sköld Y. Concentrations of tire wear microplastics and other traffic-derived non-exhaust particles in the road environment // Environment International. 2022. DOI: 10.1016/j.envint.2022.107618.

4. Gerlofs-Nijland M., Bokkers B., Sachse H., Reijnders J., Gustafsson M., Boere J., Fokkens P., & Leseman D., Augsburg K., Cassee F. Inhalation toxicity profiles of particulate matter: a comparison between brake wear with other sources of emission // Inhalation Toxicology. 2019. DOI: 10.1080/08958378.2019.1606365.

5. Николенко Д.А., Васильев А.Н., Иванова Ю.П., Сахарова А.А., Иванова О.О., Азаров В.Н., Чернущенко А.А. О влиянии градостроительных решений и зеленых газозащитных зон на качество воздушной среды примагистральных территорий // Инженерный вестник Дона. 2022. №2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2022/7441.

6. Голохваст К.С., Чернышев В.В., Угай С.М. Выбросы автотранспорта и экология человека (обзор литературы) // Экология человека. 2016. № 1. С. 9-14. URL: elibrary.ru/item.asp?id=25693899.

7. Исаева Я.К. Технические и экологические особенности автомобильного транспорта // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2021. № 4. С. 360-362. URL: elibrary.ru/item.asp?id=46149088.

8. Вершинин Н.Н., Шумилин А.Д., Волкова А.В., Авдоница Л.А. Исследование влияния перехода автомобильного транспорта на экологический стандарт "Евро-5" на воздушный бассейн города // Надежность и качество сложных систем. 2017. № 2. С. 83-89. URL: elibrary.ru/item.asp?id=29234803.

---

9. Fussell J., Franklin M., Green D., Gustafsson M., Harrison R., Hicks W., Kelly F., Kishta F., Miller M., Mudway I., Oroumiyeh F., Selley L., Wang, Meng., Zhu Y. A Review of Road Traffic-Derived Non-Exhaust Particles: Emissions, Physicochemical Characteristics, Health Risks, and Mitigation Measures. *Environmental Science & Technology*. 2022. DOI: 10.1021/acs.est.2c01072.

10. Журавлева Н.В. Потокина Р.Р., Исмагилов З.Р. Определение гранулометрического состава угольных порошков методом лазерной дифракции // *Химия твердого топлива*. 2016. № 5. С. 56-62. URL: [elibrary.ru/item.asp?id=24074452](http://elibrary.ru/item.asp?id=24074452).

11. Васильев А.Н., Козловцева Е.Ю., Гараев А.Л. Исследование загрязнения мелкодисперсной пылью PM10 и PM2.5 воздушной среды города Волгограда // *Инженерный вестник Дона*. 2020. № 2. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/N2y2020/6313](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/N2y2020/6313).

12. Леванчук А.В. Загрязнение окружающей среды продуктами эксплуатационного износа автомобильно-дорожного комплекса // *Гигиена и санитария*. 2014. Т. 93. № 6. С. 17-21. URL: [elibrary.ru/item.asp?id=22804033](http://elibrary.ru/item.asp?id=22804033).

13. Ватулина Е.Я., Леванчук А.В., Леванчук Л. А., Курепин Д.Е. Графическое представление результатов исследования экологической нагрузки на урбанизированную территорию при воздействии транспортных потоков // *Интернет-журнал Науковедение*. 2016. Т. 8, № 2. URL: [elibrary.ru/item.asp?id=26134062](http://elibrary.ru/item.asp?id=26134062).

### References

1. Barikaeva N.S., Nikolenko D.A. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arkhitektura*. 2017. № 50. pp. 182-189. URL: [elibrary.ru/item.asp?id=32321718](http://elibrary.ru/item.asp?id=32321718).

2. Nikolenko D.A., Solov'eva T.V. *Inzhenernyj vestnik Dona*. 2015. № 3. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2015/3186](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2015/3186).

3. Järllskog I., Jaramillo-Vogel. D., Rausch J., Gustafsson M., Strömvall A., Andersson-Sköld Y. *Environment International*. 2022. DOI: 10.1016/j.envint.2022.107618.
  4. Gerlofs-Nijland M., Bokkers B., Sachse H., Reijnders J., Gustafsson M., Boere J., Fokkens P., & Leseman D., Augsburg K., Cassee F. *Inhalation Toxicology*. 2019. DOI: 10.1080/08958378.2019.1606365.
  5. Nikolenko D.A., Vasil'ev A.N., Ivanova Yu.P., Sakharova A.A., Ivanova O.O., Azarov V.N., Chernushchenko A.A. *Inzhenernyj vestnik Dona*. 2022. №2. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2022/7441](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2022/7441).
  6. Golokhvast K.S., Chernyshev V.V., Ugay S.M. *Ekologiya cheloveka*. 2016. № 1. pp. 9-14. URL: [elibrary.ru/item.asp?id=25693899](http://elibrary.ru/item.asp?id=25693899).
  7. Isaeva Ya.K. *Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Tekhnicheskie nauki*. 2021. № 4. pp. 360-362. URL: [elibrary.ru/item.asp?id=46149088](http://elibrary.ru/item.asp?id=46149088).
  8. Vershinin N.N., Shumilin A.D., Volkova A.V., Avdonina L.A. *Nadezhnost' i kachestvo slozhnykh sistem*. 2017. № 2. pp. 83-89. URL: [elibrary.ru/item.asp?id=29234803](http://elibrary.ru/item.asp?id=29234803).
  9. Fussell J., Franklin M., Green D., Gustafsson M., Harrison R., Hicks W., Kelly F., Kishta F., Miller M., Mudway I., Oroumiyeh F., Selley L., Wang, Meng., Zhu Y. *Environmental Science & Technology*. 2022. DOI: 10.1021/acs.est.2c01072.
  10. Zhuravleva N.V., Potokina R.R., Ismagilov Z.R. *Khimiya tverdogo topliva*. 2016. № 5. pp. 56-62. URL: [elibrary.ru/item.asp?id=24074452](http://elibrary.ru/item.asp?id=24074452).
  11. Vasil'ev A.N., Kozlovtseva E.Yu., Garaev A.L. *Inzhenernyj vestnik Dona*. 2020. № 2. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/N2y2020/6313](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/N2y2020/6313).
  12. Levanchuk A.V. *Gigiena i sanitariya*. 2014. T. 93. № 6. pp. 17-21. URL: [elibrary.ru/item.asp?id=22804033](http://elibrary.ru/item.asp?id=22804033).
-



13. Vatulina E.Ya., Levanchuk A.V., Levanchuk L. A., Kurepin D.E.  
Internet-zhurnal Naukovedenie. 2016. Т. 8, № 2. URL:  
[elibrary.ru/item.asp?id=26134062](http://elibrary.ru/item.asp?id=26134062).