

---

## Исследование загрязнения мелкодисперсной пылью PM10 и PM2.5 воздушной среды города Волгограда

*А.Н.Васильев<sup>1</sup>, Р.С.Кагриев<sup>2</sup>, Е.Ю.Козловцева<sup>1</sup>, А.Л.Гараев<sup>3</sup>*

<sup>1</sup>*Волгоградский государственный технический университет, Волгоград*

<sup>2</sup>*Аварийно-спасательное формирование «Экоспас», Волгоград*

<sup>3</sup>*ООО Инженерный центр «Энергопрогресс», Казань*

**Аннотация:** Одной из важных проблем современной экологии для большого количества населенных пунктов является загрязнение воздуха. Исследования российских и зарубежных ученых показывают, что наиболее негативное влияние на организм человека оказывают частицы размером до 10 мкм, поэтому контролируются содержание твердых взвешенных частиц PM10 и PM2.5 (концентрации). В статье приводятся результаты исследований загрязнения воздушной среды мелкодисперсной пылью в зимнее время года.

**Ключевые слова:** пыль, дисперсные материалы, твердые взвешенные частицы, PM2.5, PM10, атмосфера, воздушная среда, экология, экология урбанизированных территорий, экологическая безопасность.

### Введение

Процесс быстрой урбанизации, который сопровождается концентрацией технико-экономического и интеллектуального потенциала в городах, ростом их крупности и повышением значения в жизни страны – объективный процесс, который является результатом и фактором развития общества на данном этапе. Созданная человеком городская среда стала новым условием жизни основной части населения [1]. Однако техногенная цивилизация несет людям не только одни блага. Важной проблемой современной экологии является загрязнение воздуха для большинства крупных городов. Рассмотрим характеристику экологической обстановки города Волгограда, в т.ч. основные источники загрязнения воздушной среды.

### Характеристика экологического состояния воздушной среды города Волгограда

Экологическая ситуация на территории Волгоградской области характеризуется рядом показателей, одним из которых является состояние атмосферного воздуха, качество которого формируется в результате

---

сложного взаимодействия природных и антропогенных факторов. Естественная топография местности, городская застройка и климатические параметры определяют условия, влияющие на качество воздуха [2]. Уровни концентраций различных примесей формируются под влиянием переноса, рассеивания и вымывания вредных веществ, поступающих в атмосферу с выбросами от стационарных и передвижных источников. На территории Волгограда расположено много промышленных предприятий, оказывающих негативное воздействие на состояние воздушной среды: ООО «Газпром трансгаз Волгоград», АО «Каустик», ООО «ЛУКОЙЛ – Волгограднефтепереработка» и другие, также сосредоточено большое количество автомобильного транспорта. Выбросы загрязняющих веществ в атмосферу от автотранспорта по Волгоградской области за 2018 г. составили 302,3 тыс. т. [3]. На рис. 1 приведена динамика валовых выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух Волгоградской области согласно данным [3].

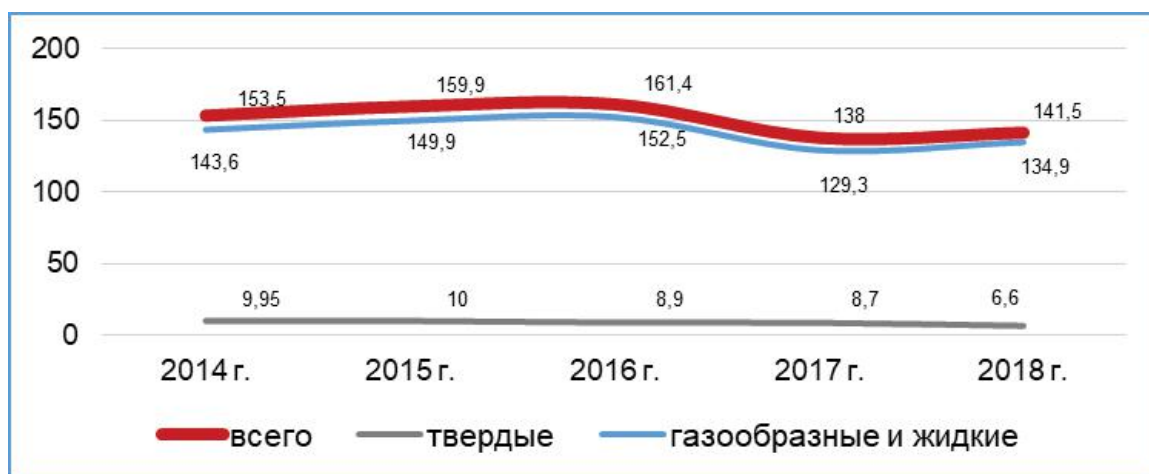


Рис. 1. – Динамика валовых выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух Волгоградской области

Волгоград является крупным промышленным центром. В настоящее время длина городского полукольца достигает примерно 80 км при ширине

от 3 до 10 км. При линейной планировочной организации урбанизированные территории вытягиваются на десятки километров в продольном направлении при небольших параметрах поперечных размеров (рис. 2). Продольные связи в таких случаях приобретают системообразующее значение как главный элемент каркаса и требуют использования нескольких параллельных скоростных коммуникаций и разных видов транспорта. Главными композиционными осями плана линейных ГС являются продольные линии (магистралей общегородского значения), проходящие вдоль территории всего города [4].



Рис. 2. – Линейная планировочная структура, г. Волгоград

Теоретически возможно предположить возникновение опасных превышений значений концентраций загрязняющих веществ вдоль главной продольной оси, однако, чрезмерные концентрации могут возникать и в районах города, отдаленных от главных магистралей общегородского значения.

### **Результаты исследований**

Для гигиенической оценки уровней загрязнения атмосферного воздуха населенных пунктов и установления приоритетных источников выбросов твердых частиц на территории жилой застройки были выбраны контрастные

---

функциональные зоны: зона воздействия выбросов автотранспорта и «условно чистая» селитебная зона. Для изучения экологической ситуации были выбраны территории жилой застройки и примагистральные территории в Центральном районе Волгограда в зимнее время года (рис. 3).

21 июня 2010 года в России были введены в действие гигиенические нормативы ГН 2.1.6.2604-10, которые устанавливают ПДК загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных мест в  $\text{мг}/\text{м}^3$  для взвешенных веществ частиц размером менее 10  $\mu\text{м}$  ( $\text{PM}_{10}$ ) максимальная разовая – 300  $\text{мкг}/\text{м}^3$ , средне-суточная – 60  $\text{мкг}/\text{м}^3$ , и для частиц размером менее 2,5  $\mu\text{м}$  ( $\text{PM}_{2,5}$ ) максимальная разовая – 160  $\text{мкг}/\text{м}^3$ , средне-суточная – 35  $\text{мкг}/\text{м}^3$ . Результаты измерения концентраций частиц пыли различных фракций ( $\text{PM}_{0,5}$ ;  $\text{PM}_1$ ;  $\text{PM}_{2,5}$ ;  $\text{PM}_5$ ;  $\text{PM}_{10}$ ) и общей концентрации ТРМ в воздушной среде представлены в таблице 1 и на рис. 4. Отбор проб проводился с помощью ручного счётчика частиц HANDHELD 3016 IAQ в режиме реального времени (с ежеминутной детекцией). Время отбора проб и период усреднения при определении максимальных разовых концентраций составляло 20 мин, каждую минуту фиксировались единичные значения. Прибор размещался на высоте 1,5 м.

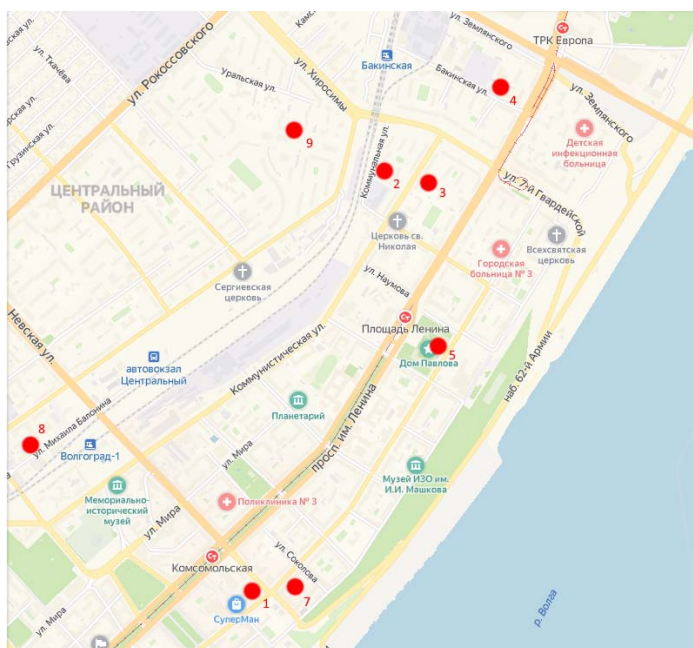


Рис. 3. – Контрольные точки замеров, г. Волгоград

Таблица № 1

Результаты измерений концентраций РМ ручным счётчиком частиц  
HANDHELD 3016 IAQ

№	Название точек	Концентрации по фракциям (усредненные значения), мкг/м <sup>3</sup>					
		PM0,5	PM1	PM2,5	PM5	PM10	TPM
1	Перекресток ТЦ «Диамант» (ул. Комсомольская 3)	4,2	6,6	11,4	52,2	176,0	421,5
2	Жилой квартал, ул. Коммунальная 6	3,8	5,5	8,2	19,0	34,3	58,3
3	Административные здания, ул. Коммунистическая 62	7,8	13,7	19,3	35,5	66,1	94,8
4	ЖК «Арбат» (ул. Бакинская 2)	4,1	6,1	9,5	25,5	40,7	63,8
5	«Дом Павлова» (ул. Советская 39)	4,3	6,5	10,0	29,3	76,5	200,9
6	Парк Саши Филиппова	3,9	6,0	8,6	16,6	26,1	47,8
7	Перекресток, ул. Советская 20 и ул. Им. Соколова	4,3	6,8	13,9	54,5	127,3	187,8
8	Жилой квартал, ул. М Балонина 5	4,5	6,9	10,9	21,7	36,0	42,5
9	Жилой квартал, ул. Пархоменко 59а	3,3	5,0	7,7	17,1	28,6	40,6

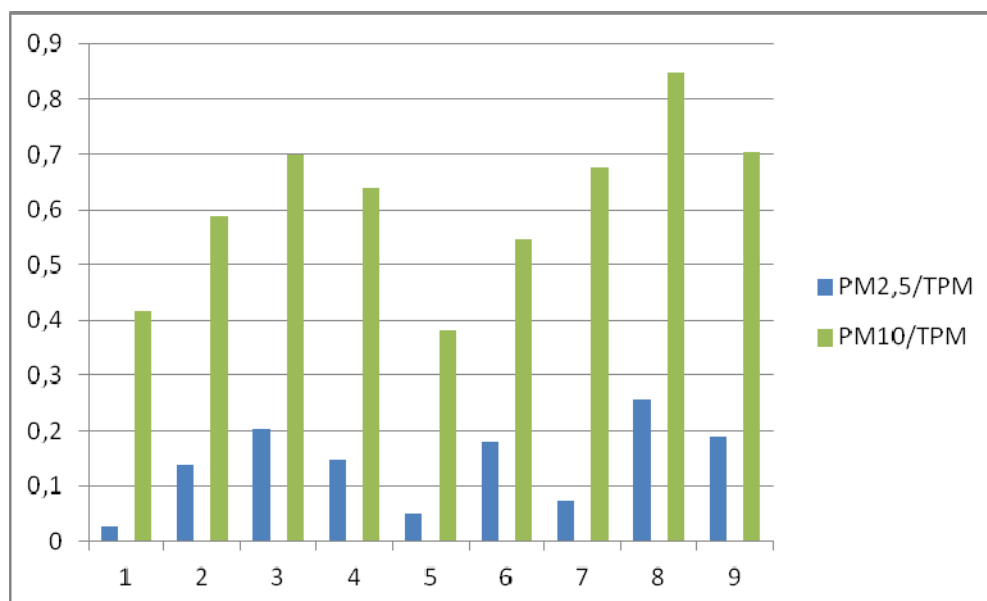


Рис. 4. – Доля концентраций фракций PM2,5 и PM10 в общей концентрации TPM

Анализ результатов исследований концентраций PM0,5; PM1; PM2,5; PM5; PM10 и TPM в атмосферном воздухе урбанизированных территорий показывает значительную вариабельность данных по фактическим уровням проведенных измерений. Загрязнение атмосферного воздуха территорий жилой застройки мелкодисперсными твердыми частицами характеризуется допустимой степенью в зоне воздействия выбросов автотранспорта, и слабой степенью – на территории «условно чистой» селитебной зоны. На территории жилой застройки, расположенной в зоне воздействия выбросов автотранспорта, максимальные разовые концентрации PM2,5 и PM10 не превышают гигиенический норматив. Анализ фракционного состава твердых частиц показал, что доля твердых частиц фракции PM2,5 и PM10 в составе TPM составляет от 2 % до 26 % для PM2,5 и от 38% до 85% для PM10 соответственно.

Таким образом, можно охарактеризовать точки измерений 1, 5, 7 как расположенные близи главной автомагистрали (проспект Ленина), а точки 2,

3, 4, 6, 8 и 9 – удаленные от главной автомагистрали. Наибольшие значения концентраций зафиксированы в точках 1, 5 и 7. Перекресток ТЦ «Диамант» характеризуется интенсивным транспортным потоком со светофорами. Транспортный поток составляют только автомобили. При этом на холостом ходу автомобиль выбрасывает 5-7% оксида углерода к объему всего выхлопа, а в процессе движения с постоянной нагрузкой – только 1-2,5% [5]. Следовательно, больше всего выхлопных газов приходится на остановки автомобиля: трогание с места, стоянка на красном светофоре и т.п. Эти данные подтверждают измерения британских ученых [6], согласно которым максимальная медианная концентрация пылевых частиц PM10, PM2.5 и PM1 у светофора в 29 раз больше, чем просто на дороге. Таким образом, чем ближе к светофору, тем больше загрязнения. «Дом Павлова» расположен рядом с остановкой «Остановка Площадь Ленина», где останавливаются маршрутные такси, автобусы и автомобили. Перекресток на пересечении улиц Советская и им. Соколова также характеризуется интенсивным транспортным потоком.

Обработка результатов экспериментальных исследований позволила получить диапазоны фракционного состава измеряемых пылевых частиц в вероятностно–логарифмической сетке, аналогично работам [7-12] (рис. 4).

Рассматривая город Волгоград как город с линейной планировочной структурой, и проводя мониторинг загрязнения воздушной среды можно выделить 2 типа территорий: «примагистральные» и «удаленные от магистрали». Как видно, доля мелкодисперсной пыли в общей концентрации меньше в точках измерений «примагистральных» территорий.

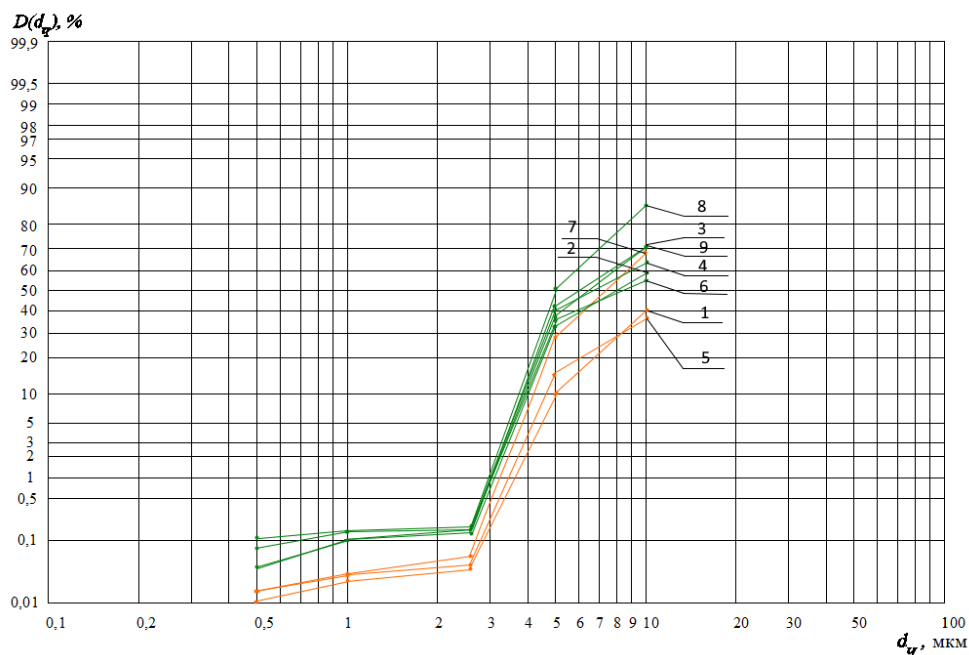


Рис. 4. – Интегральные кривые распределения массы частиц РМ по диаметрам в вероятностно–логарифмической сетке, где  $D(d_m)$  — содержание частиц пыли, %, в определяемом дисперсионном диапазоне, установленном по размеру (диаметру) пылевидных частиц  $d_m$ .

### Литература

1. Хомич В.А. Экология городской среды: учебное пособие. – М.: Издательство Ассоциации строительных вузов, 2006. – 240 с.
2. Иванова Ю.П., Надер Б.Ю., Мишаков В.А., Шаповалова Ю.А., Иванова О.О., Азаров В.Н. Влияние метеорологических условий на рассеивание вредных выбросов в городской среде // Инженерный вестник Дона, 2020, № 1. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/N1y2020/6263.
3. Доклад «О состоянии окружающей среды Волгоградской области в 2018 году»/ Ред. колл.: Сазонов В.Е. [и др.]; комитет природных ресурсов, лесного хозяйства и экологии Волгоградской области. – Ижевск: ООО «Принт», 2019. – 300 с.



4. Антюфеев А. В., Птичникова Г.А. Линейный город. Градостроительная система «Большой Волгоград»: монография; М-во образования и науки Рос. Федерации, Волгогр. гос. техн. ун-т. — Волгоград: ВолгГТУ, 2018. — 196, [1] с.

5. Денисов В.В., Денисова И.А., Гутенев В.В., Фесенко Л.Н. Основы инженерной экологии: учеб. пособие / под ред. проф. Денисова В.В. – Ростов-на-Дону: Феникс, 2013. – 624 с.

6. Goel, A., Kumar, P. Characterisation of nanoparticle emissions and exposure at traffic intersections through fast-response mobile and sequential measurements, *Atmospheric Environment*, 2015, V. 107, pp. 374-390. doi: 10.1016/j.atmosenv.2015.02.002.

7. Азаров В.Н., Ребров В.А., Козловцева Е.Ю., Азаров А.В., Добринский Д.Р., Тertiшников И.В., Поляков И.В., Абухба Б.А. О совершенствовании алгоритма компьютерной программы анализа дисперсного состава пыли в воздушной среде // *Инженерный вестник Дона*, 2018, № 2. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/N2y2018/4976](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/N2y2018/4976).

8. Kuzmichev A.A. Loboyko V.F. Impact of the Polluted Air on the Appearance of Buildings and Architectural Monuments in the Area of Town Planning // *Procedia Engineering*. Vol. 150: 2nd International Conference on Industrial Engineering (ICIE-2016) / ed. by Radionov A.A. [Elsevier publishing], 2016. – pp. 2095-2101.

9. Kozlovitseva E.Yu., Azarov V.N., Stefanenko I.V. Analysis of the dust particles distribution and ventilation as a way to improve indoor air quality // *Energy Management of Municipal Transportation Facilities and Transport - EMMFT 2017, 10-13 April 2017 : IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science / Far Eastern State Transport University, Russian Federation. - 2017. - Vol. 90. - 6 p. - URL: [iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/90/1/012025/pdf](http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/90/1/012025/pdf).*

---

10. Стреляева А.Б., Маринин Н.А., Лопатина Т.Н. Оценка PM10 и PM2,5 внутри жилых помещений при различных параметрах загрязнения // Качество внутреннего воздуха и окружающей среды = Indoor air and environmental quality: матер. XI Междунар. науч. конф., 23 марта-5 апр. 2013 г., г. Ханой / ВолгГАСУ. - Волгоград, 2013. - С. 25-28.

### References

1. Khomich V.A. Ekologiya gorodskoy sredy: uchebnoye posobiye [Ecology of the urban environment: a training manual]. M.: Izdatel'stvo Assotsiatsii stroitel'nykh vuzov, 2006. 240 p.

2. Ivanova YU.P., Nader B.YU., Mishakov V.A., Shapovalova YU.A., Ivanova O.O., Azarov V.N. Inzhenernyj vestnik Dona, 2020, № 1, URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/N1y2020/6263.

3. Doklad «O sostoyanii okruzhayushchey sredy Volgogradskoy oblasti v 2018 godu» [Report "On the state of the environment of the Volgograd region in 2018"]. Red. koll.: Sazonov V.Ye.; komitet prirodnykh resursov, lesnogo khozyaystva i ekologii Volgogradskoy oblasti. Izhevsk: OOO «Print», 2019. 300 p.

4. Antyufeyev A. V., Ptichnikova G.A. Lineynyy gorod. Gradostroitel'naya sistema «Bol'shoy Volgograd»: monografiya. [Linear city. Town-planning system "Big Volgograd": monograph]. M-vo obrazovaniya i nauki Ros. Federatsii, Volgogr. gos. tekhn. un-t. Volgograd: VolgGTU, 2018. 196 p.

5. Denisov V.V., Denisova I.A., Gutenev V.V., Fesenko L.N. Osnovy inzhenernoy ekologii: ucheb. Posobiye [Fundamentals of Environmental Engineering: a tutorial], pod red. prof. Denisova V.V. Rostov-na-Donu: Feniks, 2013. 624 p.

6. Goel, A., Kumar, P. Characterisation of nanoparticle emissions and exposure at traffic intersections through fast-response mobile and sequential measurements, Atmospheric Environment, 2015, V. 107, pp. 374-390. doi: 10.1016/j.atmosenv.2015.02.002.



7. Azarov V.N., Rebrov V.A., Kozlovtseva E.Yu., Azarov A.V., Dobrinskiy D.R., Tertishnikov I.V., Polyakov I.V., Abukhba B.A. Inzhenernyj vestnik Dona, 2018, № 2. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/N2y2018/4976](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/N2y2018/4976).

8. Kuzmichev A.A. Loboyko V.F. Procedia Engineering. Vol. 150 : 2nd International Conference on Industrial Engineering (ICIE-2016) ed. by A.A. Radionov, 2016. pp. 2095-2101.

9. Kozlovtseva E.Yu., Azarov V.N., Stefanenko I.V. Energy Management of Municipal Transportation Facilities and Transport - EMMFT 2017, 10-13 April 2017 : IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. Far Eastern State Transport University, Russian Federation. 2017. Vol. 90. 6 p. URL: [iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/90/1/012025/pdf](http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/90/1/012025/pdf).

10. Strelyayeva A.B., Marinin N.A., Lopatina T.N. Kachestvo vnutrennego vozdukhа i okruzhayushchey sredy = Indoor air and environmental quality: mater. XI Mezhdunar. nauch. konf., 23 marta-5 apr. 2013 g., g. Khanoy. VolgGASU. Volgograd, 2013. pp. 25 -28.