

## 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

*Институт архитектуры и строительства Волгоградского государственного  
технического университета*

**Аннотация:** В статье рассмотрены вопросы распространения мелкодисперсной пыли в атмосферном воздухе придорожных территорий городов линейной конфигурации, факторы, влияющие на ее концентрацию на придорожной территории.

**Ключевые слова:** мелкодисперсная пыль, придорожные территории, автомобильный транспорт, скорость ветра, метеорологические параметры.

Линейный город имеет градостроительную планировку с большой протяженностью, где его длина во много раз превосходит его ширину. К городам линейного (ленточного) типа относится — Волгоград, в котором хорошо прослеживаются две узкие параллельные полосы (зоны) жилого и промышленного назначения, между которыми тянется зеленая защитная зона [1]. В настоящее время Волгоград - один из наиболее протяженных городов России, в нем сформировалась линейно планировочная структура, которая простирается вдоль реки Волги почти на 100 км, вместе с тем в ширину Волгоград в некоторых участках составляет от 3 до 10 км [1, 2]. Общая площадь, очерченная границами, составляет 400 км<sup>2</sup>, однако Волгоград имеет разрывы между районами, которые заняты зелеными зонами и пустырями, вследствие чего территория занятая жилыми кварталами почти в 3 раза меньше [2]. В линейном городе Волгограде движение транспорта осуществляется преимущественно по 3-м продольным магистралям, которые проходят в непосредственной близости с селитебной территорией [3,4].

Наряду с газообразными загрязнителями атмосферы, одним из наиболее часто встречающихся является пыль. Пыль - это мельчайшие твердые частицы, которые поднимаются с поверхности земли в результате движения

воздушных масс и оседают на ее поверхность под воздействием земного притяжения, а также вместе с осадками.

Аэрозоль — это дисперсная система, которая состоит из взвешенных в газообразной среде, в воздухе дисперсной фазы мелких частиц [5].

Для воздушного бассейна урбанизированных территорий характерно образование аэрозолей антропогенного происхождения, являющихся результатом хозяйственной деятельности человека; природного происхождения — результат выветривания горных пород, лесных пожаров, облаков, вулканических процессов, туманов и т. п.; биогенные аэрозоли [5,6].

Оценка и прогнозирование концентрации мелкодисперсной пыли в воздушной среде придорожных территорий линейного города в значительной степени определяется математической моделью, используемой в системе мониторинга. Известные современные математические модели не всегда учитывают быстрые изменения целого ряда факторов, влияющих на рассеивание примесей в условиях линейного города, в том числе, изменения направления и скорости ветра по времени суток [7]. Они не всегда могут быть использованы для оперативного прогноза, т.к. зачастую на расчеты уходит достаточно много времени [8].

В процессе работы авторами была рассмотрена зависимость концентрации  $PM_{2,5}$  и  $PM_{10}$  от девяти факторов, на основании данных полученных в 95 экспериментальных точках, таких, как  $L$  — длина участка, км;  $J_1$  — интенсивность легковых автомобилей, авт/час;  $J_2$  — интенсивность грузовых автомобилей, авт/час;  $V_a$  — средняя скорость движения транспортного потока, авт/час;  $\alpha$  — продольный уклон проезжей части, градусы;  $\varphi$  — относительная влажность воздуха, градусы;  $t$  — температура воздуха,  $C$ ;  $V_v$  — скорость ветра, м/с;  $\theta$  — угол ветра к дороге, градусы.

Для оперативного прогноза содержания мелкодисперсной пыли в атмосфере придорожных территорий линейного города методом

---

множественной корреляции было получено уравнение квадратичной регрессии, устанавливающее связь между концентрацией  $PM_{2,5}$ ,  $PM_{10}$  на бордюре ПЧ и основными влияющими факторами [9,10].

При рассмотрении линейной регрессии для  $PM_{2,5}$  и  $PM_{10}$  были вычислены коэффициенты корреляции 0,47 и 0,32, соответственно, что говорит о слабой корреляционной зависимости, поэтому в обоих случаях рассматривалась квадратичная регрессия.

Коэффициент множественной корреляции  $R = 0,979$  близок к 1, что характеризует высокую степень зависимости переменной  $PM_{2,5}$  от значимых переменных, включенных в уравнение регрессии. Полученное уравнение квадратичной регрессии для  $PM_{2,5}$  будет иметь вид:

$$PM_{2,5} = 0,0000323\varphi^2 - 0,040913L \cdot a + 0,023589L \cdot t - 0,002095a \cdot t + 0,007246a \cdot Vv - 0,001255\varphi \cdot t. \quad (1)$$

Проверим значимость уравнения регрессии по критерию Фишера-Снедекора. Уравнение регрессии значимо на уровне  $\alpha$ , если фактически наблюдаемое значение статистики:

$$F = \frac{R^2(n-p-1)}{(1-R^2)p} > F_{\alpha, k1, k2}, \quad (2)$$

$F_{\alpha, k1, k2}$  – табличное значение F-критерия Фишера-Снедекора, определенное на уровне значимости  $\alpha$  при  $k1 = p$  и  $k2 = n-p-1$  степенях свободы,  $p$  — число оцениваемых параметров уравнения регрессии;  $n$  — число наблюдений. В нашем случае:

$$R^2=0,979; p = 6; n = 95; \alpha = 0,05; k1 = 6; k2 = 88; F = 338,245; \\ F_{0,05; 6; 88} = 2,617 \quad (3)$$

Так как  $F > F_{\alpha, k1, k2}$  то полученное уравнение регрессии значимо.

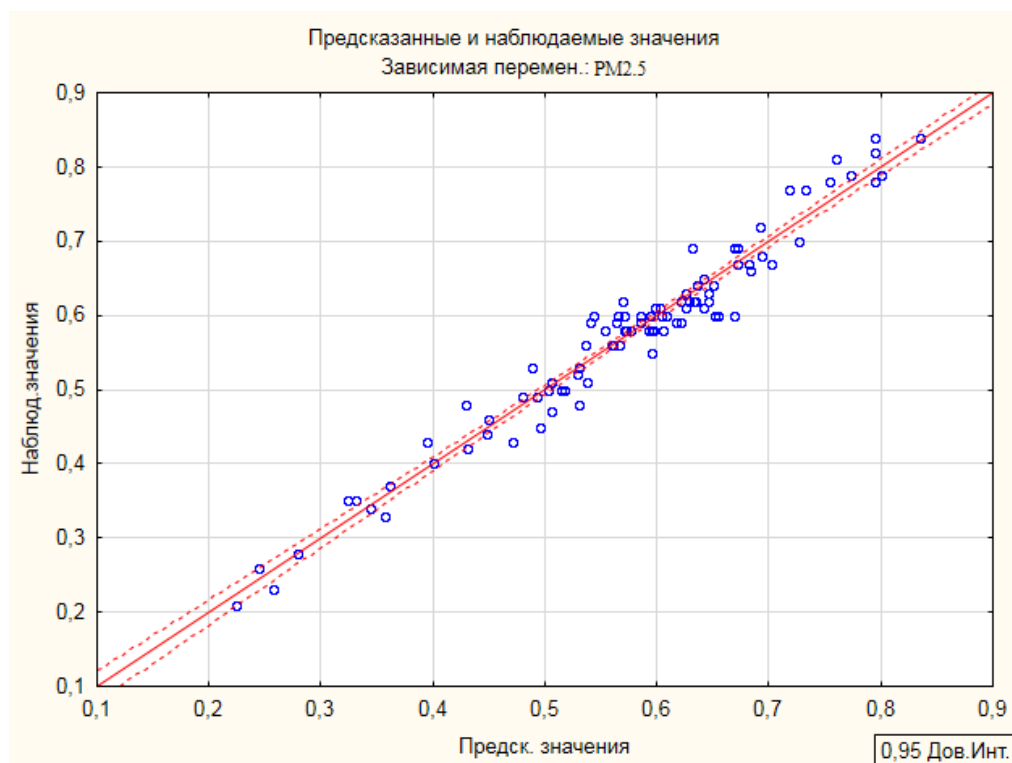


Рис.1 - Доверительная область наблюдаемых и предсказанных значений  $PM_{2,5}$

Коэффициент множественной корреляции  $R = 0,98$  близок к 1, что характеризует высокую степень зависимости переменной  $PM_{10}$  от значимых переменных. Полученное уравнение квадратичной регрессии для  $PM_{10}$  будет иметь вид:

$$PM_{10} = 0,0430t - 0,00402Vv^2 - 0,000627t^2 + 0,00002J2 \cdot Vv + 0,003026a \cdot Vv - 0,000536\phi \cdot t. \quad (4)$$

Проверим значимость уравнения регрессии по критерию Фишера-Снедекора. В нашем случае:

$$R^2=0,98; p = 6; n = 95; \alpha = 0,05; k1 = 6; k2 = 88; F = 355,7; F_{0,05; 6; 88} = 2,617 \quad (5)$$

Так как  $F > F_{\alpha, k1, k2}$  то полученное уравнение регрессии значимо.

Расчеты представлены в приложении Д.

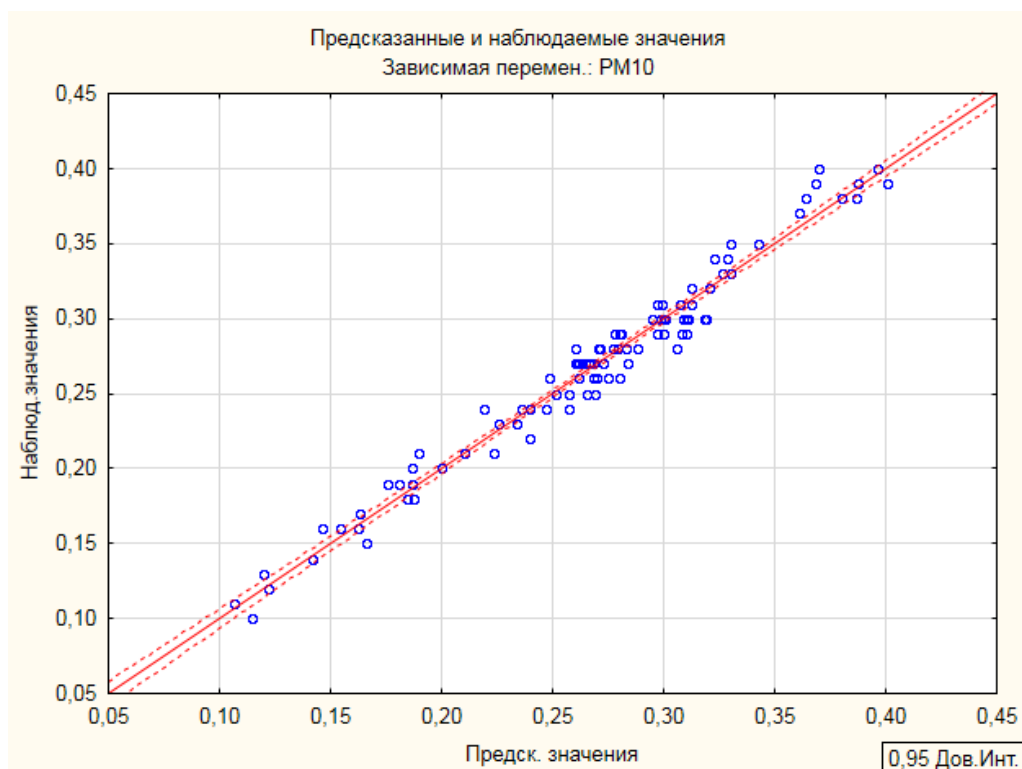


Рис. 2 - Доверительная область наблюдаемых и предсказанных значений  $PM_{10}$

Анализ уравнений показал, что наиболее значимыми факторами из исследуемых, влияющих на концентрацию  $PM_{2,5}$  в атмосфере линейного города на бордюре проезжей части, являются скорость ветра, значение которой проявляется только в эффекте с интенсивностью грузовых автомобилей, температура воздуха в эффекте с влажностью, а также длиной участка, продольным уклоном дороги. Для мелкодисперсной пыли  $PM_{10}$  - это температура в эффекте с влажностью воздуха, скорость ветра в эффекте с продольным уклоном дороги, интенсивностью грузовых автомобилей.

### Литература

1. Антюфеев А.В., Птичникова Г.А. Линейный город. Градостроительная система Большой Волгоград, Волгоград: Волгоградский государственный технический университет, 2018. – 197с.



2. Православнова Е.П. Доклад «О состоянии окружающей среды Волгоградской области в 2020 году» Ком. природных ресурсов, лесного хозяйства и экологии Волгогр. обл. – Ижевск : ООО «Принт», 2021. - 300 с.

3. Иванова Ю. П. Повышение экологической безопасности линейного города при уменьшении воздействия оксида углерода и шума (на примере г. Волгограда): дис. ... к-та техн. наук / Иванова Ю.П. – Волгоград, 2021. – 174 с.

4. Барикаева Н. С. Совершенствование системы мониторинга загрязнения воздуха придорожных территорий городов мелкодисперсной пылью: дис. ... канд. техн. наук : 05.23.19 – Волгоград, 2017. – 159 с.

5. Иванова Ю.П., Соловьева Т.В., Дериченко А.В., Боженкова А.С., Маркин В.С., Азаров В.Н. Влияние транспортных магистралей на формирование шума в городской среде и способы его снижения. Инженерный вестник Дона, №1, 2020. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2020/6257](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2020/6257).

5. Боровиков А. В. STATISTICA. Искусство анализа данных на компьютере. - Санкт-Петербург: Изд. дом «Питер», с. 656. 2001.

6. Берлянд М.Е., Генихович Е.Л., Оникул Р.И. Моделирование загрязнения атмосферы выбросами из низких и холодных источников. Метеорология и гидрология, 1990, № 5. с. 5–17.

7. Иванова Ю.П., Сахарова А.А., Иванова О.О., Сидельникова О.П., Абуев Т.Э. Влияние метеорологических условий и интенсивности транспортного потока на распространение оксида углерода. Инженерный вестник Дона, 2021, №7. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n7y2021/7086](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n7y2021/7086).

8. Донцова Т. В. Балансовый метод оценки загрязнения воздушной среды крупных городов на принципах биосферной совместимости: дис. к-та техн. наук. Волгоград, 2016. 161 с.

9. Sulaiman F.S., Darus N., Mashros N., Haron Z., Yahya K. Traffic Noise

---

2021 Assessment at Residential Areas in Skudai, Johor. E3S Web Conf. Volume 34, 2018 International Conference on Civil & Environmental Engineering (CENVIRON 2017). P. 02024. URL: [e3s-conferences.org/articles/e3sconf/abs/2018/09/e3sconf\\_cenviron2018\\_02024/e3sconf\\_cenviron2018\\_02024.html](https://www.e3s-conferences.org/articles/e3sconf/abs/2018/09/e3sconf_cenviron2018_02024/e3sconf_cenviron2018_02024.html).

10. Revich B.A., Sidorenko V.N. Human Health Damage from Environmental Pollution. Bulletin «Towards a Sustainable Russia», 2006. № 35. URL: [ecologyandculture.ru/upload/File/Bull\\_35en.pdf](http://ecologyandculture.ru/upload/File/Bull_35en.pdf)

### References

1. Doncova T. V. Balansovyj metod ocenki zagryazneniya vozduшной sredy krupnyh gorodov na principah biosfernoj sovместimosti [Balance method for detecting aircraft of large cities at biospheric security sites]: dis. k–ta tekhn. nauk. Volgograd, 2016. 161 p.

2. Pravoslavnova E.P. Doklad «O sostoyanii okruzhayushchej sredy Volgogradskoj oblasti v 2020 godu» [Report "Environment of the Volgograd region in 2020"] Kom. prirodnyh resursov, lesnogo hoz-va i ekologii Volgogr. obl. Izhevsk: OOO «Print», 2021. 300 p.

3. Ivanova YU. P. Povyszenie ekologicheskoy bezopasnosti linejnogo goroda pri umen'shenii vozdejstviya oksida ugleroda i shuma (na primere g. Volgograda) [Improving the environmental safety of a linear city while reducing the impact of carbon monoxide and noise (on the example of the city of Volgograd)]: dis. ... k–ta tekhn. nauk. Volgograd, 2021. 174 p.

4. Barikaeva N. S. Sovershenstvovanie sistemy monitoringa zagryazneniya vozduha pridorozhnyh territorij gorodov melkodispersnoj pyl'yu [Improving the system for monitoring air pollution of roadside areas of cities with fine dust]: dis. ... kand. tekhn. nauk: 05.23.19. Volgograd, 2017. 159 p.



5. Borovikov A. V. STATISTICA. Iskusstvo analiza dannyh na komp'yutere [The art of data analysis on a computer]. Sankt-Peterburg: Izd. dom «Piter», 2001. 656 p.
6. Berlyand M.E., Genixovich E.L., Onikul R.I. Meteorologiya i gidrologiya, 1990, № 5. pp. 5–17
7. Antyufeev A.V., Ptichnikova G.A. Linejnyj gorod. Gradostroitel'naya sistema Bol'shoj Volgograd, Volgograd [Linear city. Urban planning system Big Volgograd, Volgograd]: Volgogradskij gosudarstvennyj tekhnicheskij universitet, 2018. 197p.
8. Ivanova YU.P., Saharova A.A., Ivanova O.O., Sidel'nikova O.P., Abuev T.E. Inzhenernyj vestnik Dona, 2021, №7. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n7y2021/7086](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n7y2021/7086).
9. Doncova T. V. Balansovyj metod ocenki zagryazneniya vozduшной sredy krupnyh gorodov na principah biosfernoj sovместimosti [Balance method for detecting aircraft of large cities at biospheric security sites]: dis. k–ta tekhn. nauk. Volgograd, 2016. 161 p.
10. Revich B.A., Sidorenko V.N. Bulletin «Towards a Sustainable Russia», 2006. № 35. URL: [ecologyandculture.ru/upload/File/Bull\\_35en.pdf](http://ecologyandculture.ru/upload/File/Bull_35en.pdf).