

О законах распределения величины PM_{10} в атмосфере г. Кабула

М. Х. Насими, Т. В. Соловьева, Д. К-С. Батаев, А. В. Недождогина

Волгоградский государственный технический университет

Аннотация: В статье приводятся результаты проведенных зарубежными и российскими авторами исследований по оценке загрязнения городской воздушной среды мелкодисперсной пылью природного происхождения.

Ключевые слова: качество воздуха, пыль, мелкодисперсные частицы PM_{10} , природное происхождение, атмосфера.

Согласно документам Всемирной организации здравоохранения, пыль, содержащаяся в атмосферном воздухе, по степени своего вредного воздействия является одним из наиболее значимых факторов, который влияет на здоровье человека [1]. Общеизвестно, что наиболее распространенным веществом в земной коре является свободный кремнезем – диоксид кремния, который не связан химически ни с каким другим веществом. Он является одним из основных компонентов пыли, возникающей естественным и антропогенным путем. Бурение, измельчение, взрывы кремнеземных пород влечет за собой образование большого количества взвешенной пыли, которая в свою очередь частично превращается в мелкую взвесь.

При этом разные горные породы имеют различное количество кремнезема, но не это определяет сколько обнаружится кремнеземной пыли в пробе воздуха [2-7].

При оценке качества атмосферного воздуха используют концентрация взвешенных веществ. Особое внимание необходимо уделять концентрации мелкодисперсной пыли, с размерами частиц меньше 2,5 мкм ($PM_{2,5}$) и 10 мкм (PM_{10}).

Рассмотрим в качестве примера город Кабул, как один из городов где вблизи имеется горнодобывающая промышленность. В течение шести летних и осенних месяцев определилось максимальное суточное значение PM_{10} .

Измерения проводились прибором Air pointe. Известно, что максимальную суточную концентрацию пыли $C(t)$ можно рассматривать как случайную функцию нормального стационарного процесса [8–13]. Для закона распределения максимальной суточной концентрации пыли PM_{10} в летние и осенние месяцы города Кабула были определены его вид и параметры. По виду гистограмм распределения (рис. 1), на основании анализа выборочных данных и оценок параметров распределения можно предположить, что имеет место нормальный или логнормальный законы для максимальной суточной концентрации пыли.

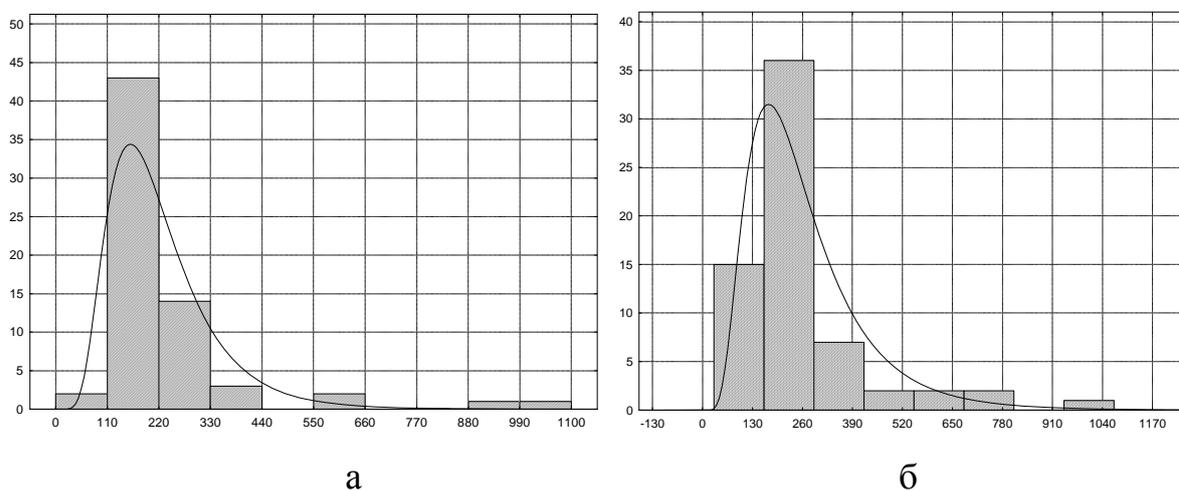


Рис. 1. Гистограмма и теоретическая кривая распределения максимальной суточной концентрации пыли г. Кабул: а) летние месяцы; б) осенние месяцы

Проверка предположений о нормальном и логнормальном законах распределения осуществлялась с помощью критериев Хи-квадрат и Колмогорова-Смирнова при уровне значимости $\alpha = 0,05$. Вся выборка была разбита на 10 групп. Результаты вычисленных статистик отображены в табл. 1.

Таблица № 1

Значения статистик по выборками величины PM_{10} в атмосфере г. Кабула

Время года	Закон распределения	Значения статистик		
		Хи-квадрат	Колмогорова-Смирнова	
		χ^2	D	λ
Летние месяцы	нормальный	60,61485	0,20256	1,645605
	логнормальный	9,1588	0,09877	0,802411
Осенние месяцы	нормальный	29,3167	0,22885	1,845048
	логнормальный	6,1655	0,11715	0,944493

По таблице критических точек Хи-квадрат по заданному уровню значимости $\alpha = 0,05$ и числу степеней свободы $k = 7$ была найдена критическая точка $\chi_{кр}^2 = 14,067$. Так как для нормального закона в обоих случаях $\chi^2 > \chi_{кр}^2$, то гипотеза о нормальном законе максимальной суточной концентрации пыли не согласуется с опытными данными. В то же время для логарифмического нормального закона выполняется требование $\chi^2 < \chi_{кр}^2$, и, следовательно, этот закон согласуется с опытными данными.

Для применения критерия Колмогорова-Смирнова была вычислена величина $\lambda = d\sqrt{n}$ (табл. 1). По таблице критических точек Колмогорова определили критическое значение $\lambda_0 = 1,63$. Так как $\lambda < \lambda_0$ только для логнормального закона, то на уровне значимости $\alpha = 0,05$ гипотеза о логнормальном законе также согласуется с опытными данными. Следовательно, по обоим критериям логнормальный закон можно использовать для описания максимальной суточной концентрации пыли.

Таким образом, были определены функция плотности $f(C)$ и интегральная функция $F(C)$ логнормального распределения для максимальной суточной концентрации пыли.

Для оценки зависимости PM_{10} от трех факторов (скорости ветра, влажности и температуры воздуха) все исходные данные были приведены к нормированному виду. Были введены в рассмотрение следующие переменные: Y_j – концентрация взвешенных частиц PM_{10} ; X_{1j} – скорость ветра; X_{2j} – влажность; X_{3j} – температура воздуха в j -ый день. Нормирование осуществлялось по формулам:

$$y_j = \frac{Y_j - Y_0}{\Delta y}; x_i = \frac{X_{ij} - X_{i0}}{\Delta x_i}; X_{i0} = \frac{\max\{X_{ij}\} + \min\{X_{ij}\}}{2}; \Delta x_i = \frac{\max\{X_{ij}\} - \min\{X_{ij}\}}{2}, (1)$$

где $i = 1, 2, 3; j = 1 \div 65$.

Для каждого месяца исследовались линейная и квадратическая регрессия, т.е. уравнение регрессии рассчитывалось в двух видах:

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 \quad \text{и} \quad (2)$$

$$y = b_0 + b_1x_1^2 + b_2x_2^2 + b_3x_3^2 + b_4x_1x_2 + b_5x_1x_3 + b_6x_2x_3. \quad (3)$$

Уравнения регрессии были получены при следующих исходных данных (табл. 2).

Таблица № 2

Значения и интервалы измерения факторов

Факторы	Средние значения факторов		Интервалы изменения Δy и Δx_i	
	летние месяцы	осенние месяцы	летние месяцы	осенние месяцы
$Y = PM_{10}$	550,5	522,5	450,5	486,5
X_1	3,5	3,5	3,5	3,5
X_2	23	39,5	18	33,5
X_3	32,5	17,5	4,5	12,5

Как показали результаты расчетов для июня и августа месяца на основе F – критерия Фишера наиболее целесообразна квадратичная модель, а для остальных месяцев — линейная модель. При этом универсальную форму зависимости загрязнения PM_{10} в атмосфере города Кабула от трех факторов:

скорости ветра, влажности и температуры воздуха получить одновременно для всех сезонных месяцев не удастся, так как ни одна модель не дает хороший коэффициент корреляции. Однако для каждого месяца такие зависимости были получены и уравнения регрессии представлены в табл. 3.

Таблица № 3

Уравнения регрессии для PM_{10}

Месяц	Уравнение регрессии	Множественный коэффициент корреляции R
Июнь	$y = -0,8979 + 0,1061x_1x_2$	0,621
Июль	$y = -0,7167 + 0,0585x_1 + 0,1497x_2 - 0,0219x_3$	0,615
Август	$y = -0,4787 - 0,7569x_1^2 + 0,8442x_2^2 - 0,2698x_3^2 - 0,4763x_2x_3$	0,614
Сентябрь	$y = -0,0578x_1 + 0,9470x_2 + 0,1123x_3$	0,98
Октябрь	$y = -0,3423 - 0,1340x_1 + 0,6375x_2 + 0,1565x_3$	0,75
Ноябрь	$y = 0,7810x_1 - 0,1922x_2 - 0,0097x_3$	0,56

Выводы: Таким образом, можно утверждать, что распределение концентрации мелкодисперсной пыли в летние и осенние месяцы подчинено логарифмическому нормальному закону. Коэффициент корреляции для всех летних месяцев и ноября говорит о заметной тесноте связи, в сентябре и октябре — о высокой тесноте связи между PM_{10} , скоростью ветра, влажностью и температурой воздуха. При этом оказалось, что в июне и июле определяющими параметрами являются скорость ветра и влажность.

Литература

1. Azarov V.N., Koshkarev S.A., Azarov D.V. The decreasing dust emissions of aspiration schemes applying a fluidized granular particulate material bed separator at the building construction factories, *Procedia Engineering*, V. 165, 2016, pp. 1070-1079.

2. Azarov V.N., Lukanin D.V., Borovkov D.P., Redhwan A.M. Experimental study of secondary swirling flow influence on flows structure at separation chamber inlet of dust collector with counter swirling flows, *International Review of Mechanical Engineering*, Vol. 8 (Issue 5), 2014, pp. 851-856.

3. 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.

4. Азаров В.Н., Тертишников И.В., Калюжина Е.А., Маринин Н.А. Об оценке концентрации мелкодисперсной пыли (PM10 и PM2,5) в воздушной среде // Вестник ВолгГАСУ, сер. Строительство и архитектура. 2011. №25 (44). С. 402-407.

5. Азаров В. Н., Маринин Н. А., Жоголева Д. А. Об оценке концентрации мелкодисперсной пыли (PM_{2,5} и PM₁₀) в атмосфере городов // Известия Юго-Зап. гос. ун-та. 2011. № 5(38). Ч.2. С. 144-149.

6. Насими М.Х., Соловьева Т.В. О загрязнении мелкодисперсной пылью PM10 атмосферного воздуха города Кабул // Инженерный вестник Дона, 2017, № 2 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/N2y2017/4121

7. Azarov V.N., Borovkov D. P., Redhwan A. M. Application of swirling flows in aspiration systems, *International Review of Mechanical Engineering*, Vol. 8 (Issue 4), 2014, pp. 750-753.

8. Azarov V.N. [et al.], Main trends of dust conditions normalizing at cement manufacturing plants, *International Review of Civil Engineering*, 6(6), 2016, pp.145-150.

9. Monitoring of fine particulate air pollution as a factor in urban planning decisions / Azarov V.N., Barikaeva N.S., Solovyeva T. V. // *Procedia Engineering*. 2016. Т. 150. pp. 2001-2007.

10. Азаров В.Н., Барикаева Н.С., Николенко Д.А., Соловьева Т.В. Об исследовании загрязнения воздушной среды мелкодисперсной пылью с использованием аппарата случайных функций // *Инженерный вестник Дона*, 2015, № 4 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2015/3350

11. Николенко Д.А., Насими М. Х., Барикаева Н.С. Сравнительный анализ загрязнения мелкодисперсной пылью атмосферы городов Волгограда и Кабула//*Инженерный вестник Дона*, 2017, № 4 URL:ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2017/4487

12. Kyoyken M.P., Source deposits to $PM_{2,5}$ and PM_{10} against the background of city and the adjacent street, *Atmospheric environment*, V. 71, 2013, pp. 26-35.

13. Barratt B., Carslaw D., Fuller G., Green D., Tremper A., Evaluation of the impact of dust suppressant application on ambient PM_{10} concentrations in London, King's College London, Environmental Research Group Prepared for Transport for London under contract to URS Infrastructure & Environment Ltd, November 2012, pp. 56.

References

1. Azarov V.N., Koshkarev S.A, Azarov D.V., *Procedia Engineering*, V. 165, 2016, pp. 1070-1079.

2. Azarov V.N., Lukanin D.V., Borovkov D.P., Redhwan A.M. *International Review of Mechanical Engineering*, Vol. 8 (Issue 5), 2014, pp. 851-856.



3. Nikolenko D.A., Solov'eva T.V., Inzhenernyj vestnik Dona (Rus), 2015. №3 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2015/3186.
4. Azarov V.N., Tertishnikov I.V., Kaljuzhina E.A., Marinin N.A. Vestnik VolgGASU, ser. Stroitel'stvo i arhitektura. 2011. №25 (44). pp. 402-407.
5. Azarov V. N., Marinin N. A., Zhogoleva D. A. Izvestija Jugo-Zap. gos. un-ta. 2011. № 5(38). Ch.2. pp. 144-149.
6. Nasimi M.H., Solov'eva T.V. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus), 2017, № 2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/N2y2017/4121
7. Azarov V.N., Borovkov D. P., Redhwan A. M. International Review of Mechanical Engineering, Vol. 8 (Issue 4), 2014, pp. 750-753.
8. Azarov V.N. [et al.]. International Review of Civil Engineering, 6(6), 2016, pp.145-150.
9. Azarov V.N., Barikaeva N.S., Solovyeva T. V. Procedia Engineering. 2016. T. 150. pp. 2001-2007.
10. Azarov V.N., Barikaeva N.S., Solovyeva T. V Procedia Engineering, V. 150, 2016, pp. 2001-2007.
11. Nikolenko D.A., Nasimi M. H., Barikaeva N.S. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus), 2017, № 4. URL:ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2017/4487
12. Kyoyken M.P. Atmospheric environment, V. 71, 2013, pp. 26-35.
13. Barratt B., Carslaw D., Fuller G., Green D., Tremper A., Evaluation of the impact of dust suppressant application on ambient PM₁₀ concentrations in London, King's College London, Environmental Research Group Prepared for Transport for London under contract to URS Infrastructure & Environment Ltd, November 2012, pp. 56.