



## О загрязнении мелкодисперсной пылью $PM_{10}$ атмосферного воздуха города Кабул

*М. Х. Насими, Т. В. Соловьева*

*Волгоградский государственный технический университет*

**Аннотация:** В статье приводятся результаты анализов, проведенных национальным агентством Афганистана по экологии и защите окружающей среды и российскими авторами исследований по оценке загрязнения атмосферного воздуха города Кабула. Выполнен анализ по формированию информации о состоянии качества атмосферного воздуха на территории города Кабула, при рассмотрении его улично-дорожной сети, как источника химического загрязнения воздушной среды. Получена математическая модель зависимости концентрации мелкодисперсной пыли ( $PM_{10}$ ) от трех факторов: скорости ветра, влажности и температуры в зимние месяцы города Кабула.

**Ключевые слова:** качество воздуха, пыль, мелкодисперсные частицы, влажность, скорость ветра, множественный коэффициент регрессии, критерий Фишера.

Загрязнение атмосферного воздуха является важной эколого-гигиенической проблемой для большинства городов. Показатели загрязнения воздушной среды определяются изменениями выбросов промышленных предприятий, транспортной инфраструктуры, а также индивидуальными метеорологическими условиями, уникальными для каждого города, которые также обладают значительной временной изменчивостью [1-7].

Одним из значимых показателей качества атмосферного воздуха в городской среде является содержание в нем взвешенных веществ. Особое внимание необходимо уделять концентрации мелкодисперсной пыли, с размерами частиц меньше 2,5 мкм ( $PM_{2,5}$ ) и 10 мкм ( $PM_{10}$ ).

Согласно документам Всемирной организации здравоохранения, взвешенные вещества  $PM_{10}$ , содержащиеся в атмосферном воздухе, являются по степени своего вредного воздействия одним из наиболее значимых факторов влияния загрязнения воздуха на здоровье населения [7].

В настоящее время контроль над содержанием мелкодисперсных частиц в воздухе осуществляется как в Европе, так и некоторых городах Афганистана [8-14].



Город Кабул характеризуется достаточно сухой погодой с ветром, поэтому автомобильно-дорожный комплекс является «поставщиком» мелкодисперсной пыли в городскую воздушную среду.

В течение 2015 года в зимнее и весеннее время в Кабуле, были проведены замеры концентрации мелкодисперсной пыли  $PM_{10}$ , в рамках мониторинга загрязнения воздушной среды. Измерения проводились прибором (Air pointe) по трем факторам: скорость ветра, влажность и температура воздуха. Были выбраны характерные месяцы для каждого сезона. В зимнее время — это месяц январь, в весеннее время — это месяц апрель.

Стандарты качества воздуха для Афганистана указаны в табл.1.

Таблица 1. Стандарты качества воздуха для Афганистана

Стандарты качества воздуха для Афганистана	$PM_{10}$	оксида серы $SO_2$	Оксид азота (IV) (диоксид азота) $NO_2$	Оксид азота(II) $NO$	Озон $O_3$	Монооксид углерода $CO$ (угарный газ) $Co$
	150 $мг/м^3$ в сутки	50 $мг/м^3$ в сутки	80 $мг/м^3$ в сутки	80 $мг/м^3$ в сутки	100 $мг/м^3$ в 8 часов	30 $мг/м^3$ в 1 час

Результаты замеров в январе представлены в табл.2, где  $V$  – скорость ветра (м/с),  $\varphi$  – влажность воздуха (%),  $T$  – температура воздуха (в градусах С),  $PM_{10}$  ( $мг/м^3$ ).



Таблица 2. Результаты замеров за январь 2015 г.

Число	$PM_{10}$	$V$	$\varphi$	$T$
03.01.2015	124	1	24	0
04.01.2015	191	4	44	+6
05.01.2015	140	1	36	+12
06.01.2015	130	1	30	+13
07.01.2015	301	1	6	+4
10.01.2015	126	1	24	+2
11.01.2015	231	2	32	-1
12.01.2015	203	2	38	-2
13.01.2015	207	3	64	-6
14.01.2015	142	4	28	+11
17.01.2015	151	1	12	+14
18.01.2015	163	1	17	+9
19.01.2015	207	2	21	+7
20.01.2015	138	2	61	+5
21.01.2015	165	3	74	+1
24.01.2015	145	2	58	+1
25.01.2015	151	1	34	+4
26.01.2015	165	1	45	+3
27.01.2015	61	1	37	+4
28.01.2015	145	1	38	+1
31.01.2015	134	1	39	+3

Результаты замеров представлены на рис. 1, анализ которого показывает, что число превышений концентрации твердых частиц  $PM_{10}$  нормы  $150 \text{ мг/м}^3$  происходит в течение 11 дней из 21-го.

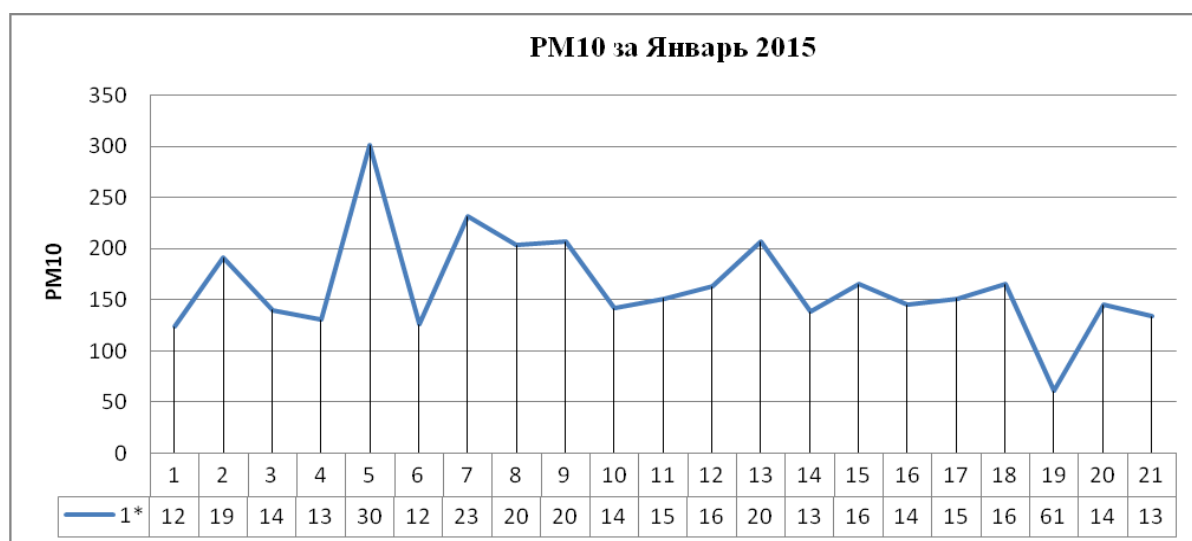


Рис. 1. Концентрация твердых частиц  $PM_{10}$  в г. Кабуле в январе 2015 г.

В апреле месяце число превышений концентрации твердых частиц  $PM_{10}$  нормы  $150 \text{ мг/м}^3$  происходит в течение 13 дней из 21-го (рис. 2).

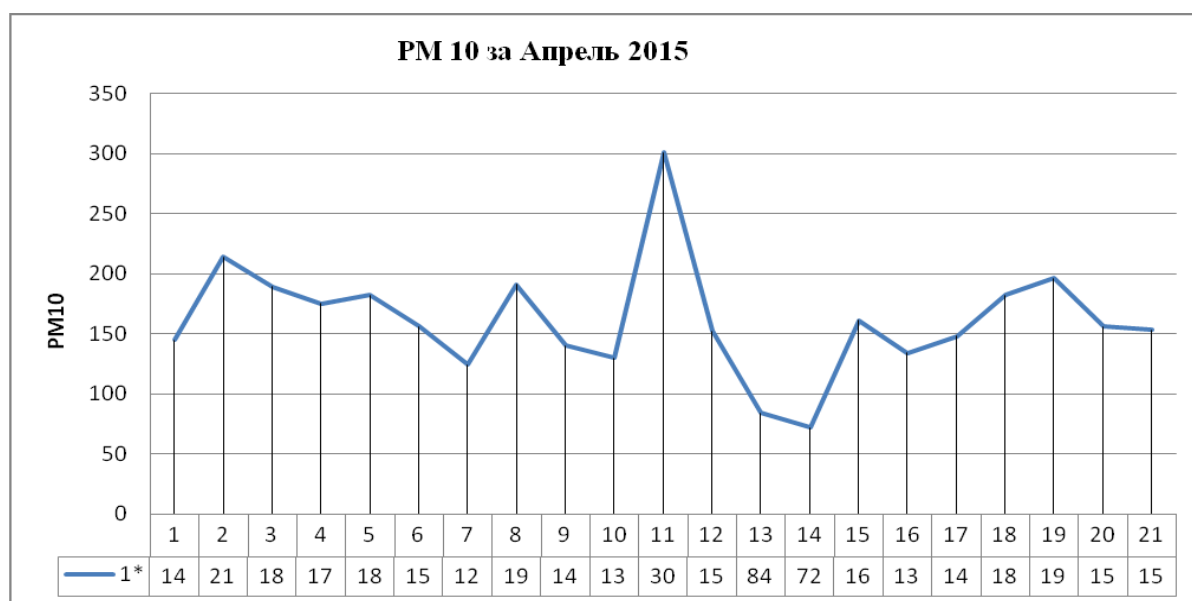


Рис. 2. Концентрация твердых частиц  $PM_{10}$  в г. Кабуле в апреле 2015 г.

Для оценки зависимости  $PM_{10}$  от трех факторов (скорости ветра, влажности и температуры воздуха) все исходные данные были приведены к нормированному виду. Нормирование проводилось для каждого месяца отдельно. Были введены в рассмотрение следующие переменные:



$Y$  – концентрация взвешенных частиц  $PM_{10}$ ;  $x_1$  – скорость ветра;  $x_2$  – влажность;  $x_3$  – температура воздуха. Нормирование осуществлялось по формулам:

$$Z_i = \frac{Z_i - Z_{cp}}{\Delta_Z}; \quad Z_{cp} = \frac{Z_{max} + Z_{min}}{2}; \quad \Delta_Z = \frac{Z_{max} - Z_{min}}{2}. \quad (1)$$

Для января месяца имеем

$$Y_{max} = 301; Y_{min} = 61; Y_{cp} = 181; \quad \Delta_Y = 120; x_{1max} = 4; x_{1min} = 1; x_{1cp} = 2,5; \\ \Delta_{x_1} = 1,5; x_{2max} = 74; x_{2min} = 6; x_{2cp} = 40; \Delta_{x_2} = 34; x_{3max} = 14; x_{3min} = -6; x_{3cp} = 4; \\ \Delta_{x_3} = 10.$$

Для апреля месяца

$$Y_{max} = 301; Y_{min} = 72; Y_{cp} = 186,5; \quad \Delta_Y = 114,5; x_{1max} = 3; x_{1min} = 0; x_{1cp} = 1,5; \\ \Delta_{x_1} = 1,5; x_{2max} = 56; x_{2min} = 9; x_{2cp} = 32,5; \Delta_{x_2} = 23,5; x_{3max} = 28; x_{3min} = 11; x_{3cp} = \\ 19,5; \Delta_{x_3} = 8,5.$$

Для каждого месяца исследовалась линейная и квадратичная регрессия, т.е. уравнение регрессии отыскивалось в двух видах:  $y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3$  и  $y = b_0 + b_1x_1^2 + b_2x_2^2 + b_3x_3^2 + b_4x_1x_2 + b_5x_1x_3 + b_6x_2x_3$ .

Для января месяца на основе  $F$  – критерия Фишера была выбрана линейная модель, а для апреля месяца — квадратичная модель.

После проведения расчетов были получены уравнения регрессии для каждого месяца (табл. 3).

Таблица 3. Уравнения регрессии

Месяц	Уравнение регрессии	Множественный коэффициент корреляции $R$
Январь	$y = 0,083 + 0,462x_1 - 0,550x_2 - 0,178x_3$ .	0,648
Апрель	$y = -0,2873 + 0,603x_3^2 + 0,4997x_2x_3$ .	0,652



Как показывают результаты расчетов универсальную форму зависимости загрязнения  $PM_{10}$  в атмосфере Кабула от трех факторов: скорости ветра, влажности и температуры воздуха получить не удастся. Однако для отдельных месяцев такие зависимости получены. Коэффициент корреляции для обоих месяцев равен 0,65, что в соответствии с таблицей Чеддока, говорит о заметной связи.

Полученные данные можно интерпретировать следующим образом, что, например, в январе месяце с увеличением ветра и с уменьшением влажности воздуха загрязнение атмосферы воздуха г. Кабула увеличивается.

### Литература

1. Kyoyken M.P. Source deposits to  $PM_{2.5}$  and  $PM_{10}$  against the background of city and the adjacent street // Atmospheric environment. 2013. V. 71. pp. 26-35.
2. Evaluation of the impact of dust suppressant application on ambient  $PM_{10}$  concentrations in London / B. Barratt, D. Carslaw, G. Fuller, D. Green, A. Tremper // King's College London, Environmental Research Group Prepared for Transport for London under contract to URS Infrastructure & Environment Ltd. November 2012. 56 p.
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](http://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 ( $PM_{10}$  и  $PM_{2.5}$ ) 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  $PM_{10}$ ) в атмосфере городов // Известия Юго-Зап. гос. ун-та. 2011. № 5(38). Ч.2. С. 144-149.



6. Николенко М.А., Неумержицкая Н.В., Сергина Н.М., Белоножко М.В. О результатах оценки воздействия на качество атмосферного воздуха и об определении необходимой степени очистки пылевых выбросов асфальтобетонных заводов // Инженерный вестник Дона, 2015, №3. URL: ivdon.ru/magazine/archive/n3y2015/3191.

7. Contribution (contributions) of the cities of the environment of firm particles (PM): the systematic review of local sources of contributions at the global level / Federico Karagulian, Claudio Balys, Carlos Francisco C. Dora, Annette Prüss-Ustün, Sofie Bonjour, Heather Ader Rokhani, Markus Amann // Atmospheric environment. 2015. V. 120. pp. 475-483.

8. Годовые колебания частиц  $PM_{10}$  в воздухе Владивостока / В.А. Дрозд, П. Ф. Кику, В.Ю. Ананьев [и др.] // Известия Самарского научного центра РАН. 2015. Т. 17. №5 (2). С. 646-651.

9. Tendency of firm particles in surrounding. Air the town in India / Manya Singkh, Atindra Kumar Pandey, P.K. Singkh, Gunjana Singkh // Indian magazine of basic and applied researches. 2016. Vol. 1. №4. pp. 70-72.

10. Азаров В.Н., Сидякин П.А., Лопатина Т.Н. Влияние содержания мелкодисперсной пыли в атмосферном воздухе на социально-экологическое благополучие городов-курортов Кавказских Минеральных Вод // Социология города. 2014. № 1. С. 28-38.

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

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



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

14. Research of dust content in the earthworks working area / Azarov V.N., Trokhimchuk M.V., Sidelnikova O.P. // Procedia Engineering . 2016. V. 150. pp. 2008-2012.

### References

1. Kyoyken M.P. Atmospheric environment. 2013. V. 71. pp. 26-35.

2. B. Barratt, D. Carslaw, G. Fuller, D. Green, A. Tremper. King's College London, Environmental Research Group Prepared for Transport for London under contract to URS Infrastructure & Environment Ltd. November 2012. 56 p.

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

4. Azarov V. N., Tertishnikov I. V., Marinin N. A. Zhilishhnoe stroitel'stvo. 2012. № 3. pp. 20-22.

5. Azarov V. N., Marinin N. A., Zhogoleva D. A. Izvestija Jugo-Zap. gos. un-ta. 2011. № 5(38). P.2. pp. 144-149.

6. Nikolenko M.A., Neumerzhickaja N.V., Sergina N.M., Belonozhko M.V. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus), 2015, №3. URL: [ivdon.ru/magazine/archive/n3y2015/3191](http://ivdon.ru/magazine/archive/n3y2015/3191).

7. Federico Karagulian, Claudio Balys, Carlos Francisco C. Dora, Annette Prüss-Ustün, Sofie Bonjour, Heather Ader Rokhani, Markus Amann. Atmospheric environment. 2015. V. 120. pp. 475-483.

8. V.A. Drozd, P. F. Kiku, V.Ju. Anan'ev [i dr.] Izvestija Samarskogo nauchnogo centra RAN. 2015. T. 17. №5 (2). pp. 646-651.

9. Manya Singkh, Atindra Kumar Pandey, P.K. Singkh, Gunjana Singkh. Indian magazine of basic and applied researches. 2016. Vol. 1. №4. pp. 70-72.





10. Azarov V.N., Sidjakin P.A., Lopatina T.N. Sociologija goroda. 2014. № 1. pp. 28-38.
11. Azarov V.N., Barikaeva N.S., Solovyeva T. Procedia Engineering. 2016. V. 150. pp. 2001-2007.
12. V.N. Azarov V.N., Koshkarev S.A., Azarov D.V. Procedia Engineering. 2016. V. 165. pp. 1070-1079.
13. Azarov V.N. [et al.] International Review of Civil Engineering. 2016. 6(6). pp.145-150.
14. Azarov V.N., Trokhimchuk M.V., Sidelnikova O.P. Procedia Engineering. 2016. V. 150. pp. 2008-2012.