

## Мониторинг загрязнения воздушной среды мелкодисперсной пылью в спортивном зале

*A.E. Брыскин<sup>1</sup>, Н.Е. Калинина<sup>1</sup>, Д.А. Скрынников<sup>1</sup>, М.Д. Азарова<sup>1,2</sup>*

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

*<sup>2</sup> Волгоградский государственный университет*

**Аннотация:** В статье рассматривается влияние мелкодисперсной пыли на здоровье занимающихся в спортивном зале. Исследуются факторы, характеризующие пыль в зависимости от диапазонов высоты дыхания занимающихся. Проводится серия замеров в спортивном зале и дальнейшее исследование с помощью микроскопа и персонального компьютера. Получены результаты дисперсного состава пыли. Выявлена зависимость диаметра частиц пыли от высоты.

**Ключевые слова:** мелкодисперсная пыль, рабочая зона, дисперсный состав, аэродинамические характеристики, диаметр частиц, спортивный зал

Запыленность рабочего пространства во время проведения занятий по физической культуре – фактор, оказывающий влияние на здоровье учащихся и преподавателей. Особенно это следует учитывать в холодное время года, когда занятия проводятся в закрытом помещении, а именно в спортивном зале.

Зачастую на занятиях присутствуют одновременно несколько учебных групп, что означает нахождение большого количества активно дышащих людей в одном закрытом помещении. Соответственно, выполнение упражнений в помещении, которое запылено мелкодисперсными частицами пыли, способными проникать в глубь легких, негативно сказывается на здоровье людей [1].

В дыхательных путях происходит два процесса: задержка и выделение поступивших частиц. В верхних дыхательных путях задерживается 80 - 90 % частиц величиной до 10 мкм, в альвеолярную область поступает 70 - 90 % частиц размером 2,5 - 1 мкм и менее. Увеличенная скорость вдыхаемого воздуха спортсменом при высокоинтенсивных физических нагрузках обходит значительную часть нормальной носовой фильтрации и переносит

загрязняющие вещества глубже в дыхательные пути, и, соответственно, происходит пропорциональное увеличение количества вдыхаемых загрязняющих веществ. Соответственно, чем интенсивнее нагрузка, тем выше количество загрязняющих веществ, попадающих в организм [2]. Как известно, средняя высота зоны дыхания взрослого человека 1,5 м. При занятиях физической культурой и во время выполнения спортивных упражнений диапазон высоты зоны дыхания варьируется от 20 см (упражнения сидя и лежа на полу), 120-170 см (упражнения в положении стоя), 220 см (прыжковые упражнения) и до 360 см (упражнения на высокой перекладине, гимнастической стенке, лазание по канату). Исходя из вышесказанного, нами поставлена задача: исследовать факторы, характеризующие аэрозоль на различной высоте.

В спортивном зале ИАиС ВолгГТУ (Рис.1) проходили занятия у студентов 1 курса факультета СиЖКХ. В рамках данного исследования проводились три серии измерений.

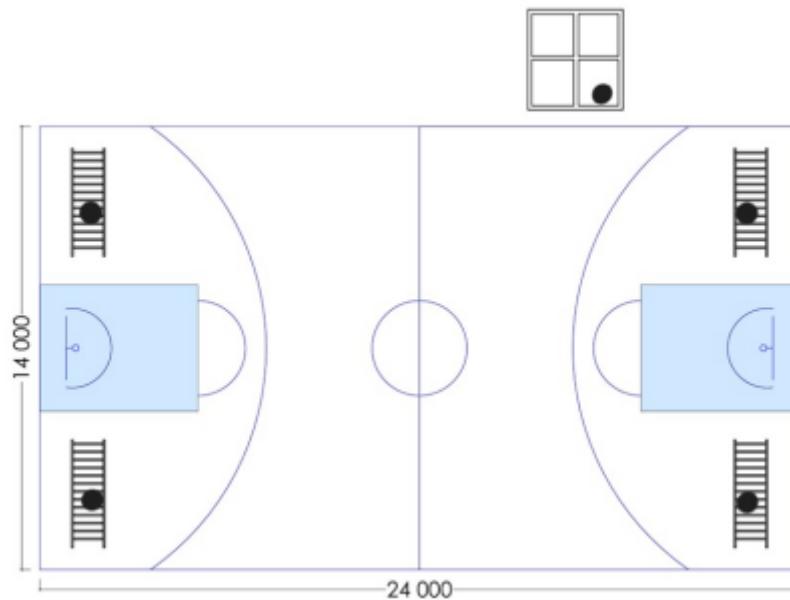


Рис.1. – Схема спортивного зала ИАиС ВолгГТУ

На занятиях присутствовало 40 - 45 человек, время проведения всех измерений диапазон с 8:30 до 10:00. В основной части занятия, после

разминки, студенты играли в волейбол. Интенсивность нагрузки по частоте пульса (ЧП) 130-150 уд/мин. Оценка тяжести нагрузки – средняя.

Температура на улице в период измерений от - 2 до - 4 С, влажность воздуха 47%, местами обледенения, проветривания во время занятия не было (все окна спортзала были закрыты). Внутри помещения температура составляла +22 С, относительная влажность воздуха 42%. Во время проведения занятий (9:10-9:20) был проведен цикл отбора проб пыли на гимнастической стенке и подоконнике (в 8 точках на разной высоте) (Рис. 2). Используя 3 аспиратора, всасывающая часть которых располагалась на различной выбранной высоте (Рис. 2), происходил отбор проб частиц пыли. Пыль на каждой из восьми высот (300 мм, 800 мм, 1300 мм, 1800 мм, 2300 мм, 2800 мм, 3300 мм, 3600 мм) отбиралась двумя способами. Первый способ – тремя аспираторами через алонжи (Рис. 2.). Второй – пыль отбиралась с семи ступеней и подоконника на тех же высотах.

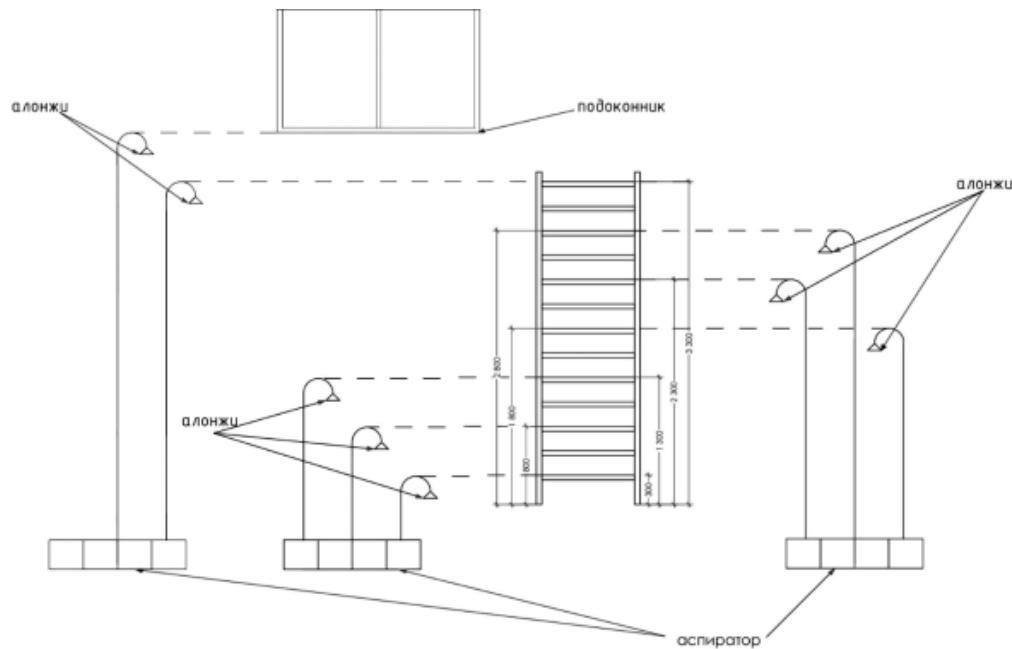


Рис.2. – Точки отбора проб вблизи шведской стенки (верхняя плоскость ступеней)

Затем осажденная пыль подверглась дальнейшим исследованиям с помощью микроскопа и персонального компьютера. Используя микроскоп, были получены фотографии частиц пыли, которые были использованы в программе SpotExplorer для получения конечных результатов исследования в виде графиков (Рис. 3).

Полученные результаты исследования дисперсного состава представлены на Рис. 3.

Аналогично получены результаты дисперсного состава пыли, отобранные аспираторами.

Полученные данные в результате 3-х серий замеров с обработкой их результатов с помощью программы SpotExplorer представлены в сравнительной таблице (Таблица №1).

Таблица № 1

Данные, полученные с помощью SpotExplorer, где  $H$  – высота, на которой отобраны пробы,  $d_{50}$  – максимальный диаметр частиц пыли,  $d_{50}$  – медианный диаметр частиц пыли

H, см	Диаметры расширения, мкм			
	Витающая пыль		Осевшая пыль	
	$d_{50}$	$d_{max}$	$d_{50}$	$d_{max}$
25	24	33	30	40
75	6	8,5	9	10
120	10	14	13	17
170	15	20	18,5	23,5
220	17	29	20	34
260	8	19	11	21
310	4	7,3	5,5	8
360	1,5	2,4	2	3

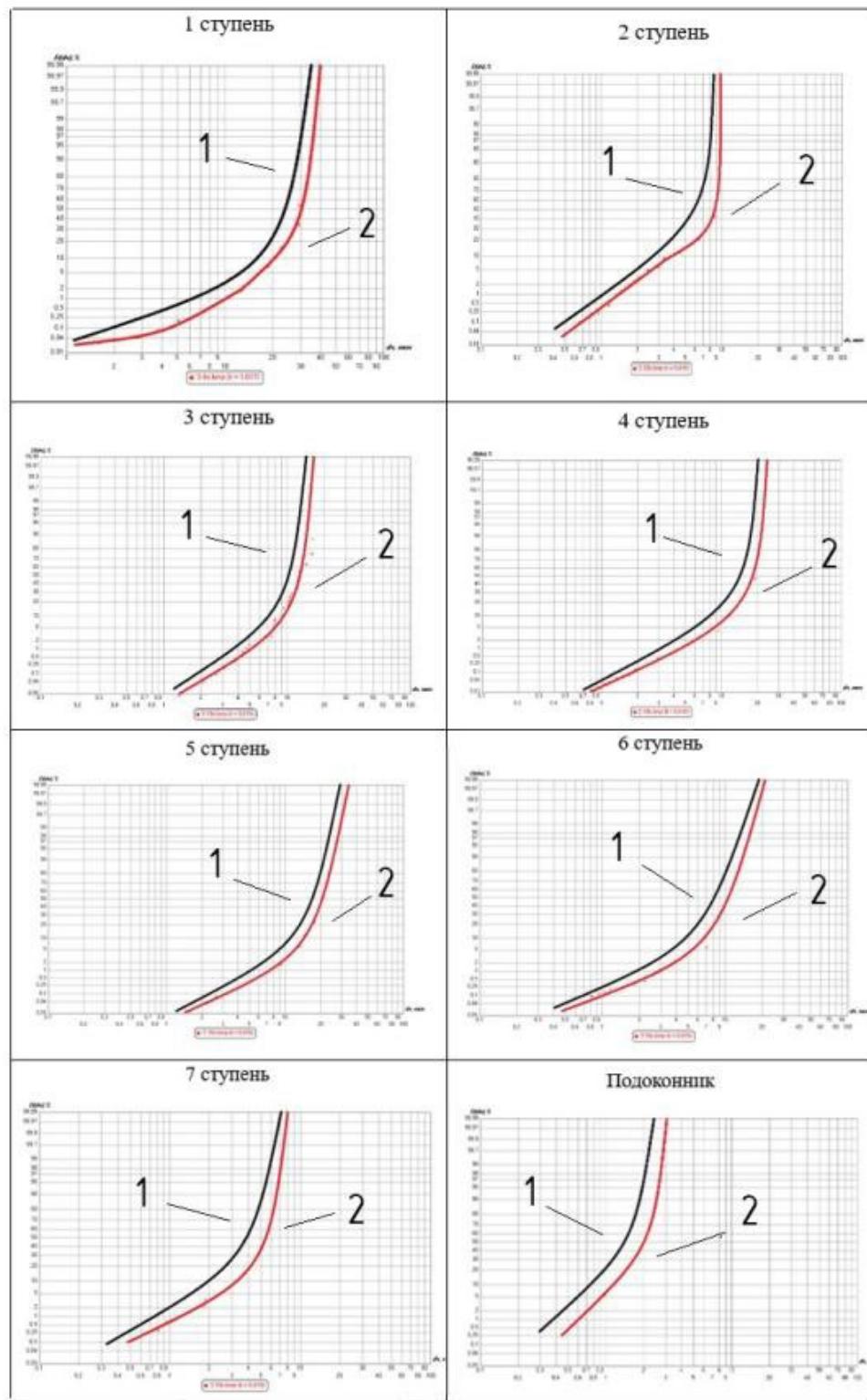


Рис. 3. – Графики интегральных функций распределения всего цикла отбора проб пыли на различной высоте. 1 – для витающей пыли, 2 – для осевшей пыли на шведской стенке

Опираясь на полученные данные, была построена ломанная зависимости диаметра частиц пыли от высоты в Декартовой системе координат, на которой были отобраны пробы (Рис. 4).

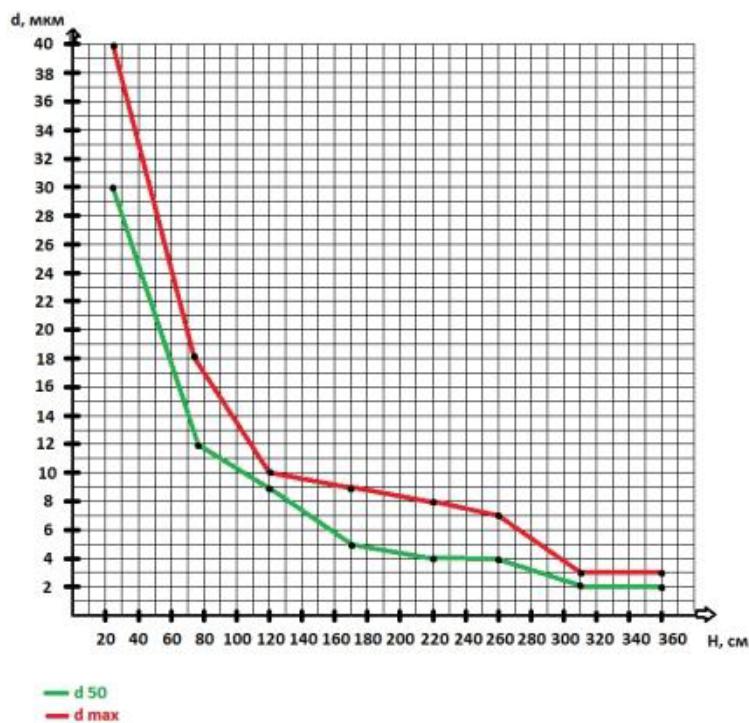


Рис.4. – Ломанная зависимости диаметра частиц пыли от высоты, на которой были отобраны пробы

На основе графика, можно сделать вывод, что с увеличением высоты (точек отбора проб) размер частиц уменьшается (и средний, и максимальный). Отметим, что на высоте 160 сантиметров медианный диаметр частиц составляет 5,5 мкм, а максимальный диаметр не превышает 10 мкм, что относится к фракции PM<sub>10</sub>. Следовательно, что на высоте дыхания учащихся преобладают мелкодисперсные частицы пыли фракции PM<sub>10</sub>.

Построим систему координат, на которой отложим ось ординат –  $lg(d)$  и ось абсцисс –  $H$ . На полученной сетке составим график уравнения регрессии с помощью метода наименьших квадратов (Рис. 5).

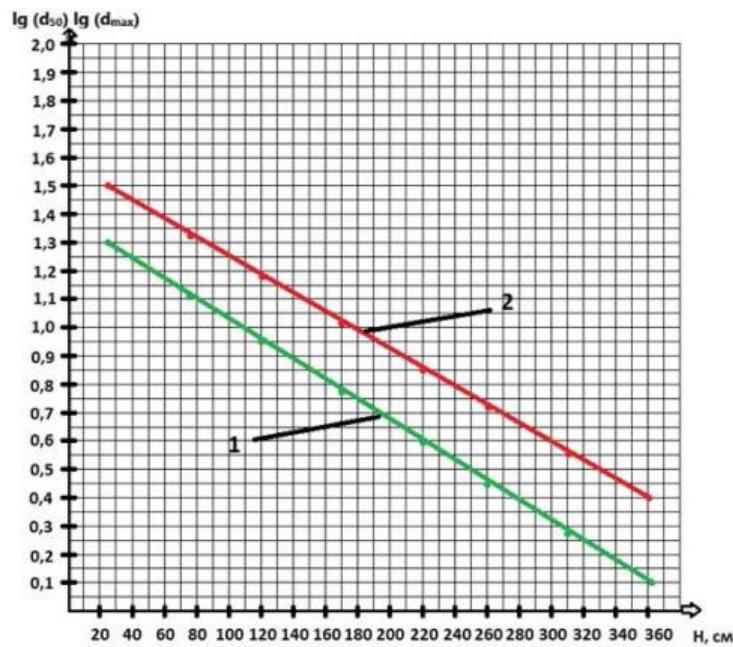


Рис.5. – Зависимости  $\lg(d_{50})$ -1 и  $\lg(d_{\max})$ -2 от высоты спортзала  $H$

Имеем две прямые, которым соответствуют уравнения линейной регрессии общего вида:

$$\lg(d_{50}) = k_1 * X_1 + b_1 \quad (1)$$

$$\lg(d_{\max}) = k_2 * X_2 + b_2 \quad (2)$$

В результате обработки экспериментальных данных искомое уравнение линейной регрессии будет иметь вид:

$$\lg(d_{50}) = 0,66X_1 + 21,2 \quad (3)$$

$$\lg(d_{\max}) = 0,87X_2 + 28,9 \quad (4)$$

Касаемо распределения частиц можем заметить, что с увеличением высоты размеров частиц уменьшается. Это доказывают значения  $d_{50}$  и  $d_{\max}$  в Таблице 2. То есть с увеличением значения  $H$  – высоты, значения показателей  $d_{50}$  и  $d_{\max}$  уменьшается, следовательно уменьшается диаметр частиц с увеличением высоты.

Практическая параллельность двух прямых на Рис. 4 означает, что закономерности распределения величин  $d_{\max}$  и  $d_{50}$  распределяются с близким значениями средних квадратичных отклонений и величины  $d_{50}$  и  $d_{\max}$  могут

быть выражены не стохастическими, а аналитическими зависимостями. То есть средний и максимальный диаметр частиц уменьшается равномерно с увеличением высоты.

## Литература

1. Азаров В.Н., Козловцева Е.Ю. О влиянии загрязнения воздушной среды города на запыленность внутри общественных зданий // Социология города. 2021. № 3. С. 71-79
  2. Азаров В.Н., Кузьмичев А.А., Николенко Д.А., Васильев А.Н., Козловцева Е.Ю. Исследование дисперсного состава пыли городской среды // Вестник МГСУ. 2020. Т. 15. № 3. С. 432-442.
  3. Загороднов, С. Ю., Май И.В., Кокоулина А.А. Мелкодисперсные частицы (PM2,5 и PM10) в атмосферном воздухе крупного промышленного региона: проблемы мониторинга и нормирования в составе производственных выбросов // Гигиена и санитария. – 2019. – Т. 98, № 2. – С. 142-147. – DOI 10.18821/0016-9900-2019-98-2-142-147. – EDN VWIDVV.
  4. Калаева С. З., Чистяков Я. В., Муратова К. М., Чеботарев П. В. Влияние мелкодисперсной пыли на биосферу и человека // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. – 2016. – № 3. – С. 40-63. – EDN WWMROH.
  5. Просвирякова, И. А., Шевчук Л.М. Гигиеническая оценка содержания твердых частиц PM10 и PM2.5 в атмосферном воздухе и риска для здоровья жителей в зоне влияния выбросов стационарных источников промышленных предприятий // Анализ риска здоровью. – 2018. – № 2. – С. 14-22. – DOI 10.21668/health.risk/2018.2.02. – EDN XRNWHJ.
  6. Зайцева Н. В., Кирьянов Д. А., Клейн С. В. [и др.] Распределение твёрдых частиц микроразмерного диапазона в дыхательных путях человека:
-

натурный эксперимент. Гигиена и санитария. – 2023. – Т. 102, № 5. – С. 412-420. – DOI 10.47470/0016-9900-2023-102-5-412-420. – EDN IMNZUS.

7. Вишняков Я.Д., Вагин В. И., Овчинников В. В., Стародубец А. Н. Безопасность жизнедеятельности. Защита населения и территорий в чрезвычайных ситуациях: учеб. пособие для студ.высш. учеб. заведений [Я. Д. Вишняков и др.]. — М. Издательской центр «Академия», 2007. — 304 с. ISBN 978-5-7695-3392-1

8. Salonen H, Salthammer T, Morawska L. Human exposure to indoor air contaminants in indoor sports environments. *Indoor Air*. July 2020, 30(6). P. 1109-1129. DOI:10.1111/ina.12718

9. Andrade A, Dominski FH, Coimbra DR. Scientific production on indoor air quality of environments used for physical exercise and sports practice: Bibliometric analysis. *J Environ Manage*. 2017. Jul 1; 196:188-200. doi: 10.1016/j.jenvman.2017.03.001. Epub 2017 Mar 10. PMID: 28284941.

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. Xing YF, Xu YH, Shi MH, Lian YX. The impact of PM2.5 on the human respiratory system. *J Thorac Dis*. 2016; 8(1): P. 69-74. doi:10.3978/j.issn.2072-1439.2016.01.19

## References

1. Azarov V.N., Kozlovceva E.YU. *Sociologiya goroda*. 2021. № 3. pp. 71-79.
  2. Azarov V.N., Kuz'michev A.A., Nikolenko D.A., Vasil'ev A.N., Kozlovceva E.YU. *Vestnik MGSU*. 2020. Т. 15. № 3. pp. 432-442.
-

3. Zagorodnov, S. Yu., Maj I.V., Kokoulina A.A. Gigiena i sanitariya. 2019. T. 98, № 2. pp. 142-147. DOI 10.18821/0016-9900-2019-98-2-142-147. EDN VWIDVV.
4. Kalaeva S. Z., Chistyakov Ya. V., Muratova K. M., Chebotarev P. V. Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Nauki o Zemle. 2016. № 3. pp. 40-63. EDN WWMROH.
5. Prosviryakova, I. A., Shevchuk L.M. Analiz riska zdorov'yu. 2018. № 2. pp. 14-22. DOI 10.21668/health.risk/2018.2.02. EDN XRNWHJ.
6. Zajceva N. V., Kir'yanov D. A., Klejn S. V. [i dr.] Gigiena i sanitariya. 2023. T. 102, № 5. pp. 412-420. DOI 10.47470/0016-9900-2023-102-5-412-420. EDN IMNZUS.
7. Denisov V.V., Grachev V.A., Denisova I.A., Bezopasnost' zhiznedeyatel'nosti. Zashchita naseleniya i territorij pri chrezvychajnyh situaciyah [Life safety. Protection of population and territories in emergency situations] uchebnoe posobie. Moskva; 2007. 304 p.
8. Salonen H, Saltherammer T, Morawska L. Indoor Air. July 2020, 30(6). pp. 1109-1129. DOI: 10.1111/ina.12718
9. Andrade A, Dominski FH, Coimbra DR. J Environ Manage. 2017 Jul 1; 196:188-200. pp. 188-200. DOI: 10.1016/j.jenvman.2017.03.001
10. Azarov V.N., Barikaeva N.S., Nikolenko D.A., Solov'eva T.V. Inzhenernyj vestnik Dona, 2015, №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2015/3350
11. Xing YF, Xu YH, Shi MH, Lian YX. The impact of PM2.5 on the human respiratory system. J Thorac Dis. 2016; 8(1): pp. 69-74. doi: 10.3978/j.issn.2072-1439.2016.01.19

**Дата поступления: 7.11.2025**  
**Дата публикации: 26.12.2025**

---