

## Мониторинг аэрозолей в атмосферном воздухе населенных пунктов

*И.Ю. Глинянова*

*Волгоградский государственный технический университет*

**Аннотация:** Мониторинг аэрозолей в атмосферном воздухе жилых зон населенных пунктов обеспечивает их экологическую безопасность. Цель исследования заключалась в изучении показателей количества и массовой доли частиц в р.п. Средняя Ахтуба (Среднеахтубинский район, Волгоградская область) за весну-лето 2019 года в сравнении с условно-чистой зоной. В результате проведенных исследований выявлено небольшое превышение по количеству частиц в жилой зоне Средней Ахтуба ( $N_{PM10}=85,5\%$ ) по сравнению с условно-чистой зоной ( $N_{PM10}=69,8\%$ ). По массовой доле частиц, данные территории заметно отличаются: в Средней Ахтубе их обнаружено: ( $D(d_{PM10})=28,54\%$ ), что в 3,3 выше значений условно-чистой зоны. Проведенное исследование показателей частиц свидетельствует о наличии в аэрозолях металлических примесей и экологических рисках для населения Средней Ахтубы.

**Ключевые слова:** экологический мониторинг, экологические риски, аэрозоли; количество и массовая доля частиц.

**Введение.** Аэрозольные частицы способны адсорбировать на своей поверхности различные соединения, в том числе металлы. Мониторинг аэрозолей, исследование в них тяжелых металлов и других химических соединений создают условия обеспечения экологической безопасности жилых зон населенных пунктов. Мониторинг окружающей среды позволяет осуществлять в городских и сельских поселениях экологический контроль [1,2], прогнозировать экологические риски для проживающего там населения и выработку необходимых экологических мероприятий.

Так, известно, что тяжелые металлы из окружающей среды могут проникать в организм человека и способствовать развитию различных заболеваний. Например, аэрозольные частицы диаметром меньше 2.5 мкм с расположенными в них металлическими соединениями могут разрушать целостность мембраны, проникать в эндотелиальные клетки сосудов, инициировать развитие сердечно - сосудистых заболеваний [3]. Способность тяжелых металлов производить активные формы кислорода в дыхательной системе человека, делает их опасными для живых организмов [4]. В этой

---

связи установлено, что тяжелые металлы увеличивают заболеваемость и смертность от сердечно-сосудистых, респираторных заболеваний, участвуют в процессах развития злокачественных опухолей [5]. Некоторые тяжелые металлы: хром (Cr), медь (Cu), никель (Ni), кадмий (Cd), свинец (Pb), цинк (Zn), марганец (Mn), кобальт (Co) в  $PM_{2.5}$  могут оказывать влияние на патофизиологию многих сердечно-сосудистых заболеваний и являться токсичными для миокарда [6]. Мышьяк (As) и никель (Ni) в мелкодисперсной пыли могут являться одной из наиболее частых причин смерти и др. [7]. При этом известны данные о способности тяжелых металлов воздействовать на сигнальные системы головного мозга, на клетки органов и тканей, способствовать онкологическим и хроническим заболеваниям [8-10]. Опасность металлических примесей в аэрозолях очевидна, в связи с чем актуальным является их мониторинг для обеспечения экологической безопасности жилых зон населенных пунктов. Цель исследования заключалась в изучении количества и массовой доли частиц диаметром меньше 10 мкм в р.п. Средняя Ахтуба (Среднеахтубинский район, Волгоградская область) за весну-лето 2019 года в сравнении с условной чистой зоной для возможного установления металлических примесей в аэрозолях.

**Материал и методы исследования.** Материалом исследования явились листья *Prunus armeniaca* с аэрозольными частицами. 1 образец составлял около 400 см<sup>2</sup> площади листовой поверхности. Листья отбирались с 10 деревьев (10 повторов) в сентябре 2019 г., с открытой стороны растения на высоте 0,6–2,0 м. над уровнем земли с разных сторон. В одной точке исследования было получено 10 образцов (1 образец: 20 листьев абрикосовых деревьев (*Prunus armeniaca*)). На экспериментальной территории и в условно чистой зоне всего было изучено 200 образцов.

Так, 1 образец листьев *Prunus armeniaca* помещали в стеклянный контейнер с 250 мл дистиллированной воды, перемешивали в течение нескольких минут стеклянной палочкой, чтобы смыть частицы с поверхности листьев. В результате этого получались аэрозольные суспензии.

При осуществлении анализа диаметра частиц ( $d_c$ , мкм), их фракционного состава, все аэрозольные суспензии поочередно проходили через фильтры: АФА-ВП-10 и др. До проведения анализа, фильтры сушили в течение 30 минут при  $60^\circ\text{C}$  в сушильной камере (низкотемпературная лабораторная печь), а затем оставляли в комнате для взвешивания для стабилизации их массы с предварительным взвешиванием на весах. Таким образом, приготовленная аэрозольная суспензия первоначально фильтровалась через металлическое сито с диаметром ячеек 100 мкм для удаления частиц размером более 100 мкм. Затем суспензию фильтровали через предварительно взвешенные стандартные фильтры АФА-ВП-10 или АФА-ВП-20, изготовленные из высокоэффективного гидрофобного фильтрующего материала ФПП-15, на которых впоследствии размещалась отобранная аэрозольные частицы. Фильтр модели АФА-ВП-20 или др. с аэрозольными частицами высушивался при комнатной температуре до постоянной массы, в результате чего получалась определенная масса пылевидных частиц (мг) 1 образца (общая площадь листовых пластинок  $S=150\text{ см}^2$ ). Отфильтрованные аэрозольные частицы размещали далее на предметном стекле и впоследствии они исследовались на оптическом микроскопе. Исследование пыли осуществляли с разносторонним фотографированием образцов, увеличенных в 200-2000 раз под микроскопом с помощью микрофотоприставки и ПК. Количество необходимых фотографий зависело от полидисперсности пыли. Снятие изображения с фотоаппарата и последующая обработка производилась с помощью графического пакета Adobe PhotoShop, для сохранения изображения; в

---

формате Windows Bitmap (bmp) в черно-белом режиме (1 bit/pixel) с последующим расчетом количества частиц на единицу площади ( $N_{\text{ч}}$ , %) и их массовой доли ( $D(d_{\text{ч}})$ , %) (ГОСТ Р 56929-2016 Выбросы загрязняющих веществ в атмосферу. Исследование фракционного состава пыли оптическим методом при нормировании качества атмосферного воздуха).

Таблица №1

Описательные статистики показателя количества аэрозольных частиц ( $N_{\text{PM}_{10}}$ ), % в р.п. Средняя Ахтуба (экспериментальная территория) и СНТ «Орошенец», «Шельф» (условно-чистая зона), 2019 год

$(N_{\text{PM}_{10}})$ , %, 2019 год		
Описательные статистики	Условно-чистая зона	Экспериментальная территория
Среднее	69,80	85,55
Стандартная ошибка	1,31	1,52
Медиана	73,59	90,30
Мода	44,9	84
Стандартное отклонение	13,06	15,19
Дисперсия выборки	170,65	230,61
Экссесс	-0,39	5,25
Асимметричность	-0,65	-2,39
Счет	100	100

Территории исследования: жилая зона р.п. Средняя Ахтуба Среднеахтубинского района Волгоградской области являлась экспериментальной территорией, поселок расположен на р. Ахтуба. Жилая зона подвергалась антропогенной нагрузке от двух керамзитовых производств, автотранспортной магистрали, предприятий промышленного комплекса г. Волжского, пруда-испарителя «Большой Лиман» и др. Условной чистой зоной была выбрана территория садоводческого некоммерческого товарищества (СНТ «Орошенец», «Шельф»). В радиусе 20-25 км указанных

СНТ отсутствует какая-либо антропогенная нагрузка, СНТ расположены на Варваровском водохранилище.

**Результаты исследования.** Проведенное исследование позволило установить средние значения по показателю количества частиц и их массовой доли на экспериментальной территории в сравнении с условно чистой зоной. Описательные характеристики показателей аэрозолей представлены в таблице 1 и таблице 2.

Для сравнения полученных данных, измеренные значения показателей проверялись на однородность и установление достоверности в них различий с использованием критерия Т-Вилкоксона.

При проведении исследования значений показателя количества частиц ( $N_{PM10}$ , %), первой принималась выборка, содержащая измерения показателя количества частиц на экспериментальной территории (р.п. Средняя Ахтуба),  $n_1=100$ . Второй выборкой являлась выборка, содержащая измерения показателя количества частиц ( $N_{PM10}$ , %) из условно-чистой зоны («Орошенец», СНТ «Шельф»). Объем этой выборки:  $n_2=100$ . Аналогично формирование выборок было по показателю массовой доли частиц.

Наблюдаемое значение статистики (рассчитанное по эмпирическим данным показателей количества и массовой доли частиц) с использованием критерия Т-Вилкоксона соответствовало:  $W_{набл.} = 13898,5$ ;  $W_{набл.} = 13394,5$ .

Значение верхней критической точки:

$$w_{в.кр.} = (n_1 + n_2 + 1) \cdot n_1 - w_{н.кр.} = (100 + 100 + 1) \cdot 100 - 9247,3 = 10852,7$$

Значение нижней критической точки:

$$w_{н.кр.}(Q, n_1, n_2) = \frac{(n_1 + n_2 + 1) \cdot n_1 - 1}{2} - z_{кр} \cdot \sqrt{\frac{n_1 \cdot n_2 \cdot (n_1 + n_2 + 1)}{12}}$$
$$w_{н.кр.}(0,025, 100, 100) = \frac{(100 + 100 + 1) \cdot 100 - 1}{2} - 1,96 \cdot \sqrt{\frac{100 \cdot 100 \cdot (100 + 100 + 1)}{12}} = 9247,3$$

Исходя из расчетов:  $W_{набл.} = 13898,5 > w_{в.кр.} = 10852,7$ ;

$W_{набл.} = 13394,5 > w_{в.кр.} = 10852,7$ , тогда нулевая гипотеза об однородности анализируемых выборок отвергалась и принималась конкурирующая гипотеза:  $F(X) \neq G(Y)$  о неоднородности анализируемых выборок.

Таблица №2

Описательные статистики показателя количества аэрозольных частиц ( $D(d_{PM2.5})$ , %) в р.п. Средняя Ахтуба (экспериментальная территория) и СНТ «Орошенец», «Шельф» (условно-чистая зона), 2019 год

(D(d <sub>PM10</sub> ), %), 2019 год		
Описательные статистики	Экспериментальная территория	Условно-чистая зона
Среднее	28,54	8,55
Стандартная ошибка	1,76	1,30
Медиана	27,38	5,96
Мода	0,36	5,30
Стандартное отклонение	17,61	13,01
Дисперсия выборки	310,12	169,23
Эксцесс	-0,41	22,42
Асимметричность	0,25	4,59
Счет	100	100

Установленные статистически значимые различия между значениями показателей в условно-чистой зоне и экспериментальной территории позволили сравнить их значения.

На рисунке 2 представлены диаграммы по количеству частиц ( $N_{PM10}$ , %) (а) и их массовой доли ( $D(d_{PM10})$ , %) (б) в условно-чистой зоне по сравнению с экспериментальной территорией (Средняя Ахтуба). Как видно из рисунка 2, по массовой доле мелкодисперсной пыли ( $D(d_{PM10})$ , %) в жилой зоне р.п. Средняя Ахтуба установлено превышение в 3,3 раза по сравнению с

условно-чистой зоной и незначительное превышение по количеству частиц ( $N_{PM10}$ , %) (в 1,2 раза).

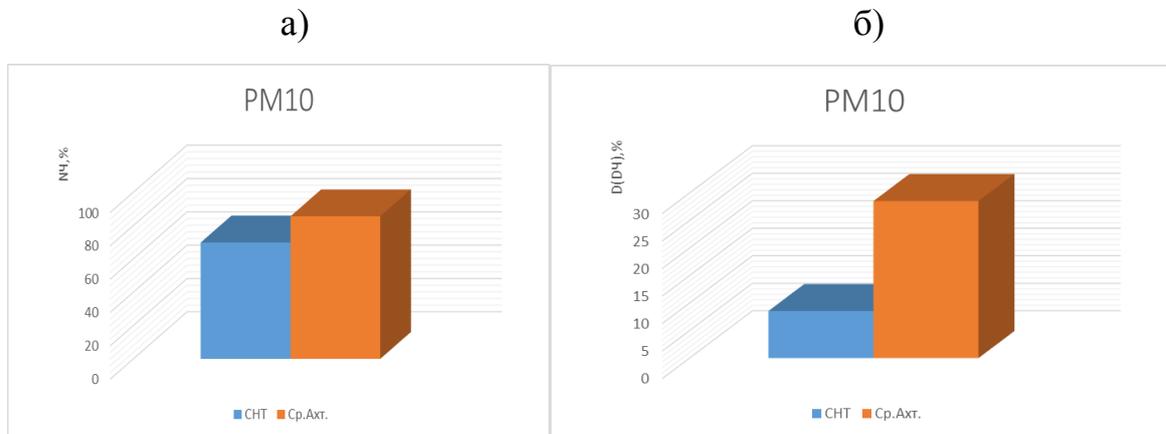


Рис.1. Количество ( $N_{PM10}$ , %), (а) и массовая доля ( $D(d_{PM10})$ , %), (б) частиц

**Выводы.** Полученные результаты свидетельствуют о практически одинаковом количестве аэрозольных частиц ( $PM_{10}$ ) на обеих территориях. По показателю массовой доли аэрозольных частиц ( $PM_{10}$ ) наблюдается их значительное превышение на экспериментальной территории. Данный факт может указывать на наличие металлических примесей в аэрозолях жилой зоны Средняя Ахтуба. При этом стоит отметить, что высокие значения по количеству аэрозольных частиц в условно-чистой зоне ставят под сомнение ее статус чистой зоны, поскольку в радиусе 25 км. отсутствует какая-либо антропогенная нагрузка. Обнаруженные значения показателей аэрозольных частиц дают основание предположить о действии случайного фактора (привнесение аэрозольного загрязнения транзитным воздушным путем), либо действии неизвестного природного источника загрязнения, что требует дальнейших исследований и изучения территории условно-чистой зоны в комплексе с геохимическими исследованиями и др.

## Литература

1. Глинянова И.Ю. Обеспечение экологической безопасности жилых зон населенных пунктов на основе мониторинга аэрозольных частиц // Инженерный вестник Дона. 2021. №7. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n7y2021/7070](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n7y2021/7070).
2. Россинская М.В., Россинский Н.П. Элементы экологического мониторинга, их краткая характеристика и влияние на качество окружающей природной среды и здоровье населения региона // Инженерный вестник Дона. 2012. №1. URL: [ivdon.ru/magazine/archive/n1y2012/668](http://ivdon.ru/magazine/archive/n1y2012/668).
3. Dai J.W., Sun C.X., Yao Z., Chen W.S., Yu L.H., Long M.H. Exposure to concentrated ambient fine particulate matter disrupts vascular endothelial cell barrier function via the IL-6/HIF-1 alpha signaling pathway // *Febs Open Bio*.2016.V.6.issue7.p.720-728.DOI10.1002/2211-5463.12077.
4. Lawrence A.J., Khan T. Quantification of Airborne Particulate and Associated Toxic Heavy Metals in Urban Indoor Environment and Allied Health Effects // *Measurement, analysis and remediation of Environmental pollutants*.2020.DOI10.1007/978-981-15-0540-9\_2.
5. Garrison V.H., Majewski M.S., Konde L., Wolf R.E., Otto R.D., Tsuneoka Y. Inhalable desert dust, urban emissions, and potentially biotoxic metals in urban Saharan-Sahelian air // *Science of the total Environment*.2014.V.500.p.383394.DOI10.1016/j.scitotenv.2014.08.106.
6. Zhang Y.Y., Ji X.T., Ku TT., Li GK., Sang N. Heavy metals bound to fine particulate matter from northern China induce season-dependent health risks: A study based on myocardial toxicity // *Environmental Pollution*.2016.V.216. pp.380-390. DOI10.1016/j.envpol.2016.05.072.

7. Sielski J., Kazirod-Wolski K., Jozwiak M.A., Jozwiak M. The influence of air pollution by PM<sub>2.5</sub>, PM<sub>10</sub> and associated heavy metals on the parameters of out-of-hospital cardiac arrest // Science of the total Environment.2021.V.788.DOI10.1016/j.scitotenv.2021.147541.
8. Abu-Elmagd M., Alghamdi M.A., Shamy M., Khoder M.I., Costa M., Assidi M., Kadam R., Alsehli H., Gari M., Pushparaj P.N., Kalamegam G., Al-Qahtani M.H. Evaluation of the Effects of Airborne Particulate Matter on Bone Marrow-Mesenchymal Stem Cells (BM-MSCs): Cellular, Molecular and Systems Biological Approaches// International journal of Environmental research and public health.2017.V.14.issue4. DOI10.3390/ijerph14040440.
9. Li Y.P., Zhang Z.S., Liu H.F., Zhou H., Fan Z.Y., Lin M., Wu DL., Xia B.C. Characteristics, sources and health risk assessment of toxic heavy metals in PM<sub>2.5</sub> at a megacity of southwest China // Environmental geochemistry and health. 2016.38. issue2.p.353-362. DOI10.1007/s10653-015-9722-z.
10. Marouf B. H. Association between Serum Heavy Metals Level and Cancer Incidence in Darbandikhan and Kalar Area, Kurdistan Region, Iraq //Nigerian journal of clinical practice.2018.V.21.issue6.p.766-771. DOI10.4103/njcp.njcp\_384\_16.

### References

1. Glinyanova I.YU. Inzhenernyj vestnik Dona. 2021. №7. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n7y2021/7070.
2. Rossinskaya M.V., Rossinskij N.P. Inzhenernyj vestnik Dona. 2012. №1. URL:ivdon.ru/magazine/archive/n1y2012/668.
3. Dai J.W., Sun C.X., Yao Z., Chen W.S., Yu L.H., Long M.H. Exposure to concentrated ambient fine particulate matter disrupts vascular endothelial cell

barrier function via the IL-6/HIF-1 alpha signaling pathway//Febs Open Bio.2016.V.6.issue7.p.720-728.DOI10.1002/2211-5463.12077.

4. Lawrence A.J., Khan T. Measurement, analysis and remediation of Environmental pollutants.2020.DOI10.1007/978-981-15-0540-9\_2.

5.Garrison V.H., Majewski M.S., Konde L., Wolf R.E., Otto R.D., Tsuneoka Y. Science of the total Environment.2014.V.500.p.383-394.DOI10.1016/j.scitotenv.2014.08.106.

6. Zhang Y.Y., Ji X.T., Ku TT, Li GK., Sang N. Environmental Pollution.2016.V.216.p.380-390.DOI10.1016/j.envpol.2016.05.072.

7. Sielski J., Kazirod-Wolski K., Jozwiak M.A., Jozwiak M. Science of the total Environment.2021.V.788.DOI10.1016/j.scitotenv.2021.147541.

8.Abu-Elmagd M., Alghamdi M.A., Shamy M., Khoder M.I., Costa M., Assidi M., Kadam R., Alsehli H., Gari M., Pushparaj P.N., Kalamegam G., Al-Qahtani M.H. International journal of Environmental research and public health.2017.V.14.issue4.DOI10.3390/ijerph14040440.

9.Li Y.P., Zhang Z.S., Liu H.F., Zhou H., Fan Z.Y., Lin M., Wu DL., Xia B.C. Environmental geochemistry and health. 2016.38. issue2.p.353-362.DOI10.1007/s10653-015-9722-z.

10. Marouf B. H. Nigerian journal of clinical practice.2018.V.21.issue6.p.766-771. DOI10.4103/njcp.njcp\_384\_16.