

## Оценка удельного загрязнения населенных пунктов с позиции экологического мониторинга аэрозольных частиц

*И.Ю. Глинянова*

*Волгоградский государственный технический университет*

**Аннотация:** В населенном пункте Средняя Ахтуба Среднеахтубинского района Волгоградской области было проведено исследование по оценке удельного загрязнения территории аэрозолями. Исследованы основные показатели аэрозольных частиц: количество частиц (Nч, %); диаметр частиц и фракционный состав частиц (PM), массовая доля частиц (D(dч), %; удельная плотность частиц (m $\theta$ , мкг/кв. см). В результате проведенных исследований выявлено, что удельное загрязнение территории аэрозольными частицами в рабочем поселке (рп) Средняя Ахтуба площадью в 2 кв. км, за весенне-летний сезон было в 2,7 раза выше (2,6938 тонн) по сравнению с условно-чистой зоной (0,997 тонн). При этом по количеству частиц во фракциях: PM $_0$ -2.5 (26,97%) в рп Средняя Ахтуба значения их были выше в 1,5 раза, чем в условно чистой зоне PM $_0$ -2.5 (18,12%). Грубодисперсная пыль лидировала в условно-чистой зоне в 2,1 раза: PM $>10$  (29,85%) по сравнению с частицами из рп Средняя Ахтуба PM $>10$  (14,16%). Полученные результаты указывают на загрязненность и запыленность атмосферного воздуха населенного пункта Средняя Ахтуба аэрозольными частицами по сравнению с условно-чистой зоной. При этом как в условно чистой зоне, так и в рп Средняя Ахтуба было неожиданно выявлено одинаковое количество мелкодисперсной пыли (PM $_2.5$ -10), что требует уточнения результатов исследования и поиска возможного природного источника загрязнения в садоводческом некоммерческом товариществе (СНТ). Также массовая доля частиц фракции (PM $_2.5$ -10) в рп Средняя Ахтуба была выше по сравнению с условно-чистой зоной несмотря на одинаковое их количество. Источником аэрозолей в рп Средняя Ахтуба могут быть как промышленные предприятия строительной индустрии, расположенные в рп Средняя Ахтуба, так скрытый источник природного загрязнения. Требуется проведение дальнейших исследований и комплексное изучение территории.

**Ключевые слова:** аэрозоли; экологический мониторинг, удельное загрязнение; удельная плотность частиц; экологические риски; атмосферный воздух; PM $_2.5$ ; PM $_{10}$ ; PM $>10$

**Введение.** Экологический мониторинг аэрозольных частиц осуществляется в различных населенных пунктах стран мира, например в Европе [1], России [2,3], Китае [4,5], Испании [6], США [7], Южной Азии [8] и др. Исследуются как основные показатели аэрозольных частиц, так и источники их происхождения в урбосреде. Так, загрязнение атмосферного воздуха может быть связано с антропогенными источниками происхождения: с горной выработкой, переработкой полезных ископаемых [9]; со свалками и полигонами промышленных отходов, шламонакопителями, хво-

стохранилищами [10] и др., с природными аэрозолями: вулканическая пыль [11], цветочная пыльца [12] и др.

Целью данной работы явилась оценка удельного загрязнения территории рабочего поселка (рп) Средняя Ахтуба Среднеахтубинского района Волгоградской области в сравнении с условно-чистой зоной – садоводческого некоммерческого товарищества (СНТ) «Орошенец», «Шельф» Советского района Волгоградской области, исследования основных показателей аэрозолей: диаметра частиц ( $d_{\text{ч}}$ , %) и их фракционного состава; количества частиц ( $N_{\text{ч}}$ , %), массовой доли частиц ( $D(d_{\text{ч}})$ , %; удельной плотности частиц ( $m\theta$ , мкг/см<sup>2</sup>).

Материалом исследования послужили аэрозольные частицы, отобранные в зеленой инфраструктуре рп Средняя Ахтуба, СНТ «Орошенец», «Шельф» в октябре 2019 г.

Задачи исследования: отбор листьев абрикосовых деревьев (*Prunus Armeniaca*); приготовление аэрозольных суспензий (смыв пыли с листьев дистиллированной водой); фильтрование; исследование аэрозольных частиц по основным показателям:  $PM_{10}$ , %; ( $N_{\text{ч}}$ , %), ( $D(d_{\text{ч}})$ , %; ( $m\theta$ , мкг/см<sup>2</sup>); оценка результатов и прогнозирование экологической ситуации.

**Методы исследования.** Материалом исследования послужили листья с пылью одного вида древесных растений (абрикосовые деревья «*Prunus Armeniaca*»), где 1 образец составлял 300-400 см<sup>2</sup> площади листовой поверхности. Листья отбирались с десяти деревьев (10 повторов) в конце вегетации (октябрь 2019 г.). В одной точке исследования было получено 10 образцов. На экспериментальной территории и в условно чистой зоне всего было изучено 200 образцов. Площадь 1 исследуемого листа абрикосового дерева рассчитывалась по формуле, предложенной Кисилевой Н.С. «для быстрого и точного определения площади листьев груши и других плодовых культур с такой же формой листовой пластинки» [13], где « $S = 0,69 \times$

---

( $LW$ )», где  $L$  – длина листа (см), а  $W$  – ширина листа (см),  $0,69$  – поправочный коэффициент» и составила  $15 \text{ см}^2$ . Отбор пылевидных частиц с листьев абрикосовых деревьев осуществлялся по методу смыва пыли с листьев растений дистиллированной водой с последующей ее фильтрацией через бумажные фильтры, которые потом взвешивали на весах, где определялась масса частиц. Такая методика себя хорошо зарекомендовала как у отечественных [14], так и у зарубежных исследователей [15,16].

Отфильтрованные пылевидные частицы размещались далее на предметном стекле и впоследствии исследовались на оптическом микроскопе, согласно методике, базированной на микроскопическом анализе мелкодисперсной пыли с применением микрофотоприставки и ПК и расчете дисперсионного состава пыли по размерам пылевидных частиц с помощью программного продукта “SPOTEXPLORER V1.0”, согласно ГОСТа Р 56929-2016.

Результаты исследования.

Проведенные исследования выявили количество ( $N_{ч}$ ), % и массовую долю частиц  $D(d_{ч})$ , % в трех фракциях на единицу площади ( $1 \text{ см}^2$ ) в рп Средняя Ахтуба, таблица № 1.

Таблица № 1

Количество ( $N_{ч}$ ), % и массовая доля частиц  $D(d_{ч})$ , % в  $PM_n$  на единицу площади ( $1 \text{ см}^2$ ) в рп Средняя Ахтуба,

$PM_n$	Количество наблюдений	( $N_{ч}$ ), %	$D(d_{ч})$ , %
$PM_{2.5}$	100	26,97	0,37
$PM_{2.5-10}$	100	58,87	28,16
$PM_{>10}$	100	14,16	71,47

Среднее значение массы аэрозольных частиц размером от 0 до 100 мкм из рп Средняя Ахтуба составило: 40,41 мг, которая была получена после фильтрации каждого из 100 образцов на аналитических фильтрах АФА ВП-

20. Один образец представляет собой аэрозольную суспензию 250 мл. дистиллированной воды и 20 листьев абрикосовых деревьев (*Prunus Armeniaca*) с площадью листьев, ориентировочно,  $300 \text{ см}^2$ .

Зная массу частиц  $\text{PM}_{100}$ , отобранных на листьях абрикосовых деревьев (*Prunus Armeniaca*), была рассчитана их поверхностная плотность ( $m\theta$ ,  $\text{мкг} \cdot \text{см}^{-2}$ ) -  $134,69 \text{ мкг/см}^2$ .

Исследуемые аэрозольные частицы были распределены по фракциям и отражены в таблице № 2.

Таблица № 2

Распределение аэрозольных частиц по фракциям на площади  $1 \text{ см}^2$  (рп Средняя Ахтуба, 2019 г.)

№ п/п	$\text{PM}_{100}$	$D(d_p)$ , %	$(m\theta, \text{мкг} \cdot \text{см}^{-2})$
1	$\text{PM}_{0-2.5}$	0,37	0,49
2	$\text{PM}_{2.5-10}$	28,16	37,92
3	$\text{PM}_{>10}$	71,47	96,28

Поверхностная плотность частиц ( $m\theta$ ,  $\text{мкг} \cdot \text{см}^{-2}$ ) является важным показателем, поскольку она предоставляет возможность рассчитать удельную площадь загрязнения территории мелкодисперсной пылью. В этой связи, зная площадь территории рп Средняя Ахтуба, которая составляет  $2 \text{ км}^2$  ( $20000000000 \text{ см}^2$ ), поверхностная плотность частиц ( $m\theta$ ,  $\text{мкг} \cdot \text{см}^{-2}$ ) на листе абрикосовых деревьев (*Prunus Armeniaca*) в 2019 году -  $134,69 \text{ мкг} \cdot \text{см}^{-2}$ . Тогда, удельная площадь загрязнения территории рп Средняя Ахтуба за два сезона (весна-лето 2019 года) была определена как  $269,38 \cdot 10^{10} \text{ мкг}$  или  $2,6938 \text{ тонны PM}_{100}$ , из которых на долю  $\text{PM}_{2.5}$  пришлось -  $0,0099 \text{ т} \cdot \text{км}^{-2}$ ; на долю  $\text{PM}_{10}$  -  $0,7575 \text{ т} \cdot \text{км}^{-2}$ , а на долю грубодисперсной пыли ( $\text{PM}_{>10}$ ) -  $1,9222 \text{ т} \cdot \text{км}^{-2}$ . Распределение  $\text{PM}_{100}$  по фракциям:  $\text{PM}_{0-2.5}$ ;  $\text{PM}_{2.5-10}$ ;  $\text{PM}_{>10}$  отображено в таблице № 3.

Таблица № 3

Удельное загрязнение аэрозолями ( $PM_{0-2.5}$ ;  $PM_{2.5-10}$ ;  $PM_{>10}$ ) территории рп Средняя Ахтуба,  $2\text{ км}^2$  в 2019 году (2 сезона: весна-лето, 6 месяцев)

№ п/п	$PM_{0-100}$	Удельное загрязнение аэрозолями территории рп Средняя Ахтуба, ( $m\theta$ , $\text{т}\cdot\text{км}^{-2}$ )
1	$PM_{0-2.5}$	0,0099
2	$PM_{2.5-10}$	0,7575
3	$PM_{>10}$	1,9222

В качестве сравнения была взята условно-чистая зона – это СНТ «Орошенец», «Шельф» в Советском районе г. Волгограда, рядом с которой не имеется промышленных предприятий, только с/х поля и на них ничего не возделывается, рядом находится также заброшенная животноводческая ферма. С отобранных в 10-ти точках листьев абрикосовых деревьев (*Prunus Armeniaca*) были произведены аналогичные расчеты и анализ полученных данных по аэрозольным частицам.

Проведенные исследования определили количество ( $N_{ч}$ ), % и массовую долю частиц  $D(d_{ч})$ , % в трех фракциях на единицу площади ( $1\text{ см}^2$ ) в СНТ, таблица № 4.

Таблица № 4

Количество ( $N_{ч}$ ), % и массовая доля частиц  $D(d_{ч})$ , % в  $PM_n$  на единицу площади ( $1\text{ см}^2$ ) в СНТ «Орошенец», «Шельф»

$PM_n$	Количество наблюдений	( $N_{ч}$ ), %	$D(d_{ч})$ , %
$PM_{2.5}$	100	18,12	0,47
$PM_{2.5-10}$	100	52,03	8,07
$PM_{>10}$	100	29,85	91,46

Среднее значение массы пылевидных частиц размером от 0 до 100 мкм из «Орошенец», «Шельф» (Волгоградская область, Советский район), (10 точек исследования, 100 образцов (1 образец: 20 листьев абрикосовых деревьев (*Prunus Armeniaca*) площадью ориентировочно 300 см<sup>2</sup>) составило: 14,97 мг.

Значение поверхностной плотности частиц ( $m\theta$ , мкг·см<sup>-2</sup>) на листе абрикосовых деревьев (*Prunus Armeniaca*) в СНТ в среднем было: 49,85 мкг·см<sup>-2</sup>. Распределение аэрозольных частиц по фракциям представлено в таблице № 5.

Таблица №5

Распределение аэрозольных частиц по фракциям на площади 1 см<sup>2</sup> (СНТ «Орошенец», «Шельф», 2019 г.)

№ п/п	PM <sub>n</sub>	D(d <sub>ch</sub> ), %	( $m\theta$ , мкг·см <sup>-2</sup> )
1	PM <sub>0-2.5</sub>	0,47	0,2342
2	PM <sub>2.5-10</sub>	8,07	4,0228
3	PM <sub>&gt;10</sub>	91,46	45,5928

Исследованная площадь СНТ «Орошенец» и «Шельф» была аналогична рп Средняя Ахтуба и составляла 2 км<sup>2</sup> (20000000000 см<sup>2</sup>), поверхностная плотность частиц ( $m\theta$ , мкг·см<sup>-2</sup>) на листе абрикосовых деревьев (*Prunus Armeniaca*) в 2019 году составила 49,85 мкг·см<sup>-2</sup>. Таким образом, удельная площадь загрязнения всей исследованной площади территории СНТ «Орошенец» и «Шельф» в среднем была определена приблизительно  $99,7 \cdot 10^{10}$  мкг или 0.997 тонны (997 кг) PM<sub>100</sub>, из которых на долю PM<sub>2.5</sub> пришлось – 0.00468 т·км<sup>-2</sup>; на долю PM<sub>10</sub> – 0.0804 т·км<sup>-2</sup>, а на долю грубодисперсной пыли (PM<sub>>10</sub>) – 0.9118 т·км<sup>-2</sup>. Распределение PM<sub>100</sub> по фракциям отображено в таблице № 6.

Таблица №6

Удельное загрязнение аэрозолями ( $PM_{0-2.5}$ ;  $PM_{2.5-10}$ ;  $PM_{>10}$ ) территории СНТ «Орошенец», «Шельф»,  $2\text{км}^2$  в 2019 году (2 сезона: весна-лето, 6 месяцев)

№ п/п	$PM_{0-100}$	Удельное загрязнение аэрозолями территории СНТ, ( $m\theta$ , $\text{г}\cdot\text{км}^{-2}$ )
1	$PM_{0-2.5}$	0,00468
2	$PM_{2.5-10}$	0,0804
3	$PM_{>10}$	0,9118

Выводы: Удельное загрязнение территории аэрозольными частицами  $PM_{0-100}$  в рп Средняя Ахтуба в 2019 году было в 2,7 раза выше по сравнению с условно-чистой зоной. При этом, в рп Средняя Ахтуба количество аэрозольных частиц фракции:  $PM_{0-2.5}$  наблюдалось несколько выше по сравнению с условно-чистой зоной в 1,5 раза. По количеству мелкодисперсной пыли фракции:  $PM_{2.5-10}$  как в СНТ, так и в рп Средняя Ахтуба в 2019 г. выявлялось их одинаковое количество и данный факт настораживает, поскольку в СНТ техногенная нагрузка отсутствует. При этом по массовой доле ( $PM_{2.5-10}$ ) в рп Средняя Ахтуба аэрозольные частицы тяжелее в 3,5 раза по сравнению с СНТ. Поверхностная плотность частиц размером от 2.5 до 10 мкм в 10 раз выше в рп Средняя Ахтуба по сравнению с условно-чистой зоной. Грубодисперсной пыли выше в условно-чистой зоне в 1,27 раза:  $PM_{>10}$  (91,46%) по сравнению с частицами из рп Средняя Ахтуба  $PM_{>10}$  (71,47%).

Проведенное исследование позволяет прогнозировать запыленность в рп Средняя Ахтуба, которая возможно происходит от двух предприятий строительной индустрии (керамзитовые производства и др.), при этом требует обратить внимание на условно-чистую зону, в которой наблюдалась также мелкодисперсная пыль фракции  $PM_{2.5-10}$  в одинаковом количестве из рп Средняя Ахтуба, что не исключает природное загрязнение в условно-чистой

зоне от неизвестного источника происхождения, что требует уточнения полученных результатов исследований и продолжения дальнейшего изучения и наблюдения за данными территориями.

### Литература

1. Gonzalez RO, Strekopytov, S. [etc.] New Insights from Zinc and Copper Isotopic Compositions into the Sources of Atmospheric Particulate Matter from Two Major European Cities// Environmental science & technology.2016.V.50.issue18.pp. 9816-9824. DOI: 10.1021/acs.est.6b00863/.
2. Зубарева Е.Г., Курень С.Г., Юртаев А.А. Экологический мониторинг токсичности отработанных газов автомобилей в ЮФО // Инженерный Вестник Дона. 2018. №1. URL:ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2018/4642.
3. Воронин В.А., Пивнев П.П., Тарасов С.П. Широкополосные гидроакустические антенны систем экологического мониторинга водной среды и придонных осадочных пород Инженерный вестник Дона. 2015. №4. URL: ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD\_205\_Voronin\_2.pdf\_2389e5b856.pdf.
4. Li X.P., Liu B. [etc] Spatial Distributions, Sources, Potential Risks of Multi-Trace Metal/Metalloids in Street Dusts from Barbican Downtown Embracing by Xi'an Ancient City Wall (NW, China)// International journal of environmental research and public health. 2019. V.16.issue 16. DOI: 10.3390/ijerph16162992.
5. Li D.Y., Liao Y.L. Spatial Characteristics of Heavy Metals in Street Dust of Coal Railway Transportation Hubs: A Case Study in Yuanping, China// International journal of environmental research and public health. 2018. V.15.issue12. DOI: 10.3390/ijerph15122662.
6. Rovira J. [etc] Main components of PM10 in an area influenced by a cement plant in Catalonia, Spain: Seasonal and daily variations// Environmental research 2018.V.165.pp.201-209. DOI: 10.1016/j.envres.2018.04.010.

7. Shirmohammadi F. [etc] Chemical composition and redox activity of PM<sub>0.25</sub> near Los Angeles International Airport and comparisons to an urban traffic site// Science of the total environment. 2018. V.610.pp.1336-1346. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2017.08.239.

8. Shahid I., Alvi M.U. [etc] Source Apportionment of PM<sub>10</sub> at an Urban Site of a South Asian Mega City// Aerosol and air quality research.2018.V.18.issue 9.pp. 2498-2509. DOI: 10.4209/aaqr.2017.07.0237.

9. Timofeev I., Kosheleva N. [etc] Contamination of soils by potentially toxic elements in the impact zone of tungsten molybdenum ore mine in the Baikal region: A survey and risk assessment// Science of the total environment. 2018. V.642.pp.63-76. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2018.06.042.

10. Khademi H., Abbaspour A. [etc] Provenance and environmental risk of windblown materials from mine tailing ponds, Murcia, Spain Environmental pollution.2018.V.241.pp. 432-440. DOI: 10.1016/j.envpol.2018.05.084.

11. Ulke AG, Brizuela MM [etc] Aerosol properties and meteorological conditions in the city of Buenos Aires, Argentina, during the resuspension of volcanic ash from the Puyehue-Cordon Caulle eruption // Natural hazards and earth system sciences.2016.V.16.issue 9.pp.2159-2175. DOI: 10.5194/nhess-16-2159-2016

12. Afonin A.N., N. N. Luneva N.N. [etc] History of introduction and distribution of common ragweed (*Ambrosia artemisiifolia* L.) in the Europe-an part of the Russian Federation and in the Ukraine// EPPO Bulletin.2018.V.48. DOI: org/10.1111/epp.12484.

13. Кисилева Н.С. Способ вычисления площади листа груши по линейным измерениям с помощью расчетных коэффициентов и методов вариационной статистики //Сельскохозяйственная биология. 2017. Том 52. №1.с.211-217.

14. Николаевский В.С. Экологическая оценка загрязнения среды и состояния наземных экосистем методами фитоиндикации. Пушкино: ВНИИЛМ, 2002. 220 с.

15. Dzierzanowski K. [etc] Deposition of particulate matter of different size fractions on leaf surfaces and in waxes of urban forest species // International journal of phytoremediation.2011.T.13.issue10.P.1037-1046. DOI: 10.1080/15226514.2011.552929.

16. Lukowski A. [etc] Particulate matter on foliage of *Betula pendula*, *Quercus robur*, and *Tilia cordata*: deposition and ecophysiology// Environmental science and pollution research. 2020.T.27.issue10.P. 10296-10307.DOI: 10.1007/s11356-020-07672-0.

### References

1. Gonzalez RO, Strekopytov, S. [etc.] 2016.V.50.issue18.pp. 9816-9824. DOI: 10.1021acs.est.6b00863.

2. Zubareva E.G., Kuren' S.G., YUrtaev A.A. Ekologicheskij monitoring toksichnosti otrabotannyh gazov avtomobilej v YUFO Inzhenernyj Vestnik Dona. 2018.№1. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2018/4642.

3. Voronin V.A., Pivnev P.P., Tarasov S.P. Inzhenernyj vestnik Dona.2015. №4. URL: ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD\_205\_Voronin\_2.pdf\_2389e5b856.pdf.

4. Li X.P., Liu B. [etc].2019.V.16.issue 16. DOI: 10.3390/ijerph16162992.

5. Li D.Y., Liao Y.L. 2018.V.15.issue12. DOI: 10.3390/ijerph15122662.

6. Rovira J. [etc] 2018.V.165.pp.201-209. DOI: 10.1016/j.envres.2018.04.010.

7. Shirmohammadi F. [etc].2018.V.610.pp.1336-1346. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2017.08.239.

8. Shahid I., Alvi M.U. [etc].2018.V.18.issue 9.pp. 2498-2509. DOI: 10.4209aaqr.2017.07.0237.



9. Timofeev I., Kosheleva N. [etc].2018.V.642.pp.63-76. DOI: 10.1016j.scitotenv.2018.06.042.
10. Khademi H., Abbaspour A. [etc] 2018.V.241.pp. 432-440. DOI: 10.1016j.envpol.2018.05.084.
11. Ulke AG, Brizuela MM [etc] 2016.V.16.issue 9.pp.2159-2175. DOI: 10.5194nhess-16-2159-2016
12. Afonin A.N., N. N. Luneva N.N. [etc] 2018.V.48. DOI: org10.1111epp.12484.
13. Kisileva N.S. Sel'skohozyajstvennaya biologiya.2017. Tom 52. №1. p.211-217.
14. Nikolaevskij V.S.Ekologicheskaya ocenka zagryazneniya sredy i sostoyaniya nazemnyh ekosistem metodami fitoindikacii [Environmental assessment of environmental pollution and the state of terrestrial ecosystems by phytoindication methods]. Pushkino: VNIILM, 2002. 220 p.
15. Dzierzanowski K. [etc] 2011.T.13.issue10.P.1037-1046. DOI: 10.108015226514.2011.552929.
16. Lukowski A. [etc] 2020.T.27.issue10.P. 10296-10307.DOI: 10.1007s11356-020-07672-0.