

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_0 , 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}; PM₁₀; 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/см²).

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/см²); 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 см² 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 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 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 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 см^2 .

Зная массу частиц 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 см^2 (рп Средняя Ахтуба, 2019 г.)

№ п/п	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 км^2 (20000000000 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 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 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, 2км^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 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 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 см²) составило: 14,97 мг.

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

Таблица №5

Распределение аэрозольных частиц по фракциям на площади 1 см² (СНТ «Орошенец», «Шельф», 2019 г.)

№ п/п	PM _n	D(d _{ch}), %	($m\theta$, мкг·см ⁻²)
1	PM _{0-2.5}	0,47	0,2342
2	PM _{2.5-10}	8,07	4,0228
3	PM _{>10}	91,46	45,5928

Исследованная площадь СНТ «Орошенец» и «Шельф» была аналогична рп Средняя Ахтуба и составляла 2 км² (20000000000 см²), поверхностная плотность частиц ($m\theta$, мкг·см⁻²) на листе абрикосовых деревьев (*Prunus Armeniaca*) в 2019 году составила 49,85 мкг·см⁻². 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) PM₁₀₀, из которых на долю PM_{2.5} пришлось – 0.00468 т·км⁻²; на долю PM₁₀ – 0.0804 т·км⁻², а на долю грубодисперсной пыли (PM_{>10}) – 0.9118 т·км⁻². Распределение PM₁₀₀ 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», 2км^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_{0.25} 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 PM₁₀ 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.