

## Обеспечение экологической безопасности жилых зон населенных пунктов на основе мониторинга аэрозольных частиц

*И.Ю. Глинянова*

*Волгоградский государственный технический университет*

**Аннотация:** Качество атмосферного воздуха жилых зон населенных пунктов и здоровье человека во многом зависит от основных показателей аэрозольных частиц. Цель данной работы заключалась в исследовании аэрозольных показателей и удельного загрязнения территории населенного пункта Средняя Ахтуба Среднеахтубинского района Волгоградской области в условиях техногенной нагрузки предприятий стройиндустрии в 2018 г. Было выявлено, что поверхностная плотность мелкодисперсной пыли ( $PM_{2.5}$  ( $4,32 \cdot 10^{10}$  мкг·см<sup>-2</sup>)) в рп. Средняя Ахтуба во 108 раз превышала значения по сравнению с условно-чистой зоной ( $PM_{2.5}$  ( $0,04 \cdot 10^{10}$  мкг·см<sup>-2</sup>)); в 28 раз наблюдались превышения по  $PM_{2.5-10}$  ( $102,5 \cdot 10^{10}$  мкг·см<sup>-2</sup>). При этом было зарегистрировано примерно одинаковое количество частиц  $PM_{10}$  в рп. Средняя Ахтуба ( $49,26 \pm 2,15\%$ ) и в условно-чистой зоне ( $41,3 \pm 1,41\%$ ), по массовой доле было значительное превышение в рабочем поселке Средняя Ахтуба, что свидетельствует о наличии в атмосферном воздухе металлических примесей. Проведенная работа представляет интерес для дальнейшего изучения указанных территорий и выявления истинных источников загрязнения.

**Ключевые слова:** дисперсность, аэрозоли; поверхностная плотность частиц;  $PM_{2.5}$ ;  $PM_{10}$ ; зеленая инфраструктура; природное загрязнение

**Введение.** Проблема загрязнения окружающей среды населенных пунктов является актуальным вопросом, поскольку от уровня загрязнения в прямой зависимости находится здоровье и благосостояние проживающих в них жителей. В этой связи осуществляется экологический мониторинг урбанистической среды [1,2]; проводится анализ удельной площади загрязнения территории населенных пунктов, в которых раскрывается количество загрязняющих веществ в атмосферном воздухе на единицу площади, исследуется влияние этого загрязнения на здоровье человека [3-5]. При этом доказано использование листьев растений урбанистических территорий, как пассивных мониторов качества окружающей среды. Так, например, листья хвой (ель, пихта, сосна), произрастающие на юго-востоке Тибетского плато часто выступают в качестве «пассивных пробоотборников стойких органических загрязнителей» - накопителей «хлорорганических

пестицидов (ХОП) и полициклических ароматических углеводородов (ПАУ)» [6]. В городе Севилья, на юге Испании изучали 16 полициклических ароматических углеводородов (ПАУ) в листьях горького апельсина, где было установлено, что «деревья горького апельсина представляются перспективными недорогими пассивными пробоотборниками, подходящими для обширного отбора проб во времени и пространстве, который может быть применен для оценки риска загрязнения воздуха ПАУ для городского населения» [7]. В листьях городских декоративных деревьев: *Citrus aurantium*, *Celtis australis*, *Platanus hispanica* и *Jacaranda mimosifolia* выявлялись «перфторированные органические соединения, пластификаторы, поверхностно-активные вещества, бромированные антипирены и консерванты» [8]. В атмосферной среде испанских городских, сельских территорий использовали такие пассивные пробоотборники, как: «хвоя сосны; листья гинкго, эвкалипт, *Populus*, *Quercus*, горький апельсин и т.д.» [9].

Цель данной работы заключалась в исследовании аэрозольных показателей, удельного аэрозольного загрязнения территории в рабочем поселке (рп.) Средняя Ахтуба Среднеахтубинского района Волгоградской области за весну-лето 2018 года. Данный населенный пункт был выбран неслучайно в виду многочисленных жалоб жителей на загрязнения предприятий строительной индустрии, которые располагаются вблизи жилой зоны. Листья абрикосовых деревьев (*Prunus armeniaca*), как наиболее массовый вид растений, произрастающий в указанном поселке, выступали «пассивными мониторами» и «естественными пробоотборниками» при оценке экологической ситуации рп. Средняя Ахтуба, поскольку ранее была продемонстрирована эффективность использования зеленой инфраструктуры при экологическом мониторинге населенных пунктов. Задачи исследования: отбор листьев абрикосовых деревьев (*Prunus armeniaca*) с предполагаемыми пылевидными частицами в рп. Средняя Ахтуба и в условно-чистой зоне

---

(садоводческое некоммерческое товарищество (СНТ) «Орошенец», «Шельф»); приготовление аэрозольных суспензий; исследование массовой доли частиц  $D(d_q)$ , %; количества частиц ( $N_q$ , %); показателя поверхностной плотности аэрозольных частиц ( $m_0$ ,  $\text{мкг}\cdot\text{см}^{-2}$ ) в зеленой инфраструктуре; расчет удельной площади общего загрязнения территории рп. Средняя Ахтуба частицами, в том числе мелкодисперсной пылью ( $PM_{2.5}$ ;  $PM_{10}$ ).

**Материал и методы исследования.** Материалом исследования послужили «естественные пробоотборники» - листья с пылью одного вида древесных растений (абрикосовые деревья (*Prunus armeniaca*)), где 1 образец составлял  $300\text{-}400\text{ см}^2$  площади листовой поверхности. Листья отбирались с 10 деревьев (10 повторов) в конце вегетации (октябрь 2018 г.), с открытой стороны растения на высоте  $0,6\text{--}2,0$  м. над уровнем земли с разных сторон. В одной точке исследования было получено 10 образцов (1 образец: 20 листьев абрикосовых деревьев (*Prunus armeniaca*), площадью ориентировочно  $300\text{ см}^2$ ). На экспериментальной территории и в условно чистой зоне всего было изучено 120 образцов из 6 точек исследования.

Так, 1 образец листьев (20 шт.) абрикосовых деревьев (*Prunus armeniaca*), составляющий  $300\text{ см}^2$  листовой площади, помещали в стеклянный контейнер с 250 мл. дистиллированной воды, перемешивали в течение нескольких минут стеклянной палочкой, чтобы смыть частицы с поверхности листьев. В результате получались аэрозольные суспензии, которые далее проходили через фильтрацию. После фильтрации определялась масса частиц (мг) 1 образца. Отфильтрованные частицы размещались далее на предметном стекле и впоследствии исследовались на оптическом микроскопе, согласно ГОСТу Р 56929-2016, где выявлялись их фракционный состав, количество мелкодисперсной пыли ( $N_q$ , %) и их массовая доля ( $Dd_q$ , %). Такая методика исследования себя хорошо

---

зарекомендовала как у отечественных [10], так и у зарубежных исследователей [11]; [12].

**Результаты исследования.** Частицы, отфильтрованные на аналитическом аэрозольном фильтре (АФА ВП-20), взвешивали на лабораторных весах. Полученные результаты исследования обрабатывались в программе Statistica 13.3.

Результаты исследования аэрозольных частиц в рп. Средняя Ахтуба.

Значение полученной массы частиц ( $PM_{0-100}$ ) из рп. Средняя Ахтуба составила:  $36,66 \pm 0,04$  (мг). Со знанием массы частиц, отобранных на листьях абрикосовых деревьев (*Prunus armeniaca*), рассчитывалась их поверхностная плотность:  $m\theta = 122,2 \pm 0,14$  ( $\text{мкг} \cdot \text{см}^{-2}$ ).

При изучении аэрозольных частиц на оптическом микроскопе, в них были выявлены три группы фракций с определенной массовой долей ( $D(d_c, \%)$ ) и количеством частиц ( $N_c, \%$ ), (таблица № 1).

Таблица № 1

Средние значения массовой доли частиц ( $D(d_c, \%)$ ) и их количества ( $N_c, \%$ ) в зеленой инфраструктуре (листья абрикосовых деревьев (*Prunus armeniaca*), рп. Средняя Ахтуба на площади  $1 \text{ см}^2$ )

$PM_n$	Количество наблюдений	$(D(d_c), \%)$	$(N_c, \%)$
$PM_{2.5}$	60	$1,77 \pm 0,35$	$44,37 \pm 2,36$
$PM_{2.5-10}$	60	$41,94 \pm 3,49$	$49,25 \pm 2,15$
$PM_{>10}$	60	$56,27 \pm 3,73$	$7,95 \pm 1,51$

Результаты исследования аэрозольных частиц в условно-чистой зоне (СНТ «Орошенец», «Шельф»).

Значение полученной массы частиц ( $PM_{0-100}$ ) в условно-чистой зоне:  $12,25 \pm 0,02$  (мг), поверхностная плотность частиц:  $m\theta = 40,87 \pm 0,08$  ( $\text{мкг} \cdot \text{см}^{-2}$ ).

В таблице № 2 представлены значения массовой доли частиц ( $D(d_c, \%)$ ) и их количества ( $N_c, \%$ ) по фракциям.

Таблица № 2

Средние значения массовой доли частиц ( $D(d_q)$ , %) и их количества ( $N_q$ , %) в зеленой инфраструктуре (листья абрикосовых деревьев (*Prunus armeniaca*), СНТ «Орошенец», «Шельф» на площади  $1 \text{ см}^2$ )

PMn	Количество наблюдений	(D (dч), %)	(N <sub>ч</sub> ), %)
PM <sub>2.5</sub>	60	0,05±0,006	25,18±1,22
PM <sub>2.5-10</sub>	60	4,43±0,46	41,31±1,4
PM <sub>&gt;10</sub>	60	95,52±0,46	34,15±2

Проведенные исследования в рп. Средняя Ахтуба и в условно-чистой зоне (СНТ «Орошенец», «Шельф») за 2018 год (2 сезона: весна-лето, 6 месяцев) и полученные данные, которые были статистически обработаны в программе Statistica 13.3 в обобщенном виде продемонстрированы в сводной таблице № 3.

Таблица № 3

Сводная таблица сравнительных данных показателей поверхностной плотности аэрозольных частиц ( $m_0$ ,  $\text{мкг} \cdot \text{см}^{-2}$ ), количества частиц ( $N_q$ , %) и их массовой доли ( $D(d_q)$ , %) в рп. Средняя Ахтуба в сравнении с условно-чистой зоной в 2018 году (2 сезона: весна-лето, 6 месяцев) на  $1 \text{ см}^2$

Показатели	PM <sub>2.5</sub>		PM <sub>2.5-10</sub>		PM <sub>&gt;10</sub>	
	рп. Ср. Ахтуба	Условно-чистая зона	рп. Ср. Ахтуба	Условно-чистая зона	рп. Ср. Ахтуба	Условно-чистая зона
$m_0$ , $\text{мкг} \cdot \text{см}^{-2}$	$4,32 \cdot 10^{10}$	$0,04 \cdot 10^{10}$	$102,5 \cdot 10^{10}$	$3,62 \cdot 10^{10}$	$137,18 \cdot 10^{10}$	$78 \cdot 10^{10}$
$N_q$ , %	44,37±2,36	25,18±1,22	49,26±2,16	41,3±1,4	7,95±1,51	34,15±2
D(dч), %	1,77±0,35	0,05±0,006	41,94±3,49	4,43±0,46	56,27±3,73	95,52±0,46

На основе рассчитанной поверхностной плотности частиц в условно-чистой зоне и рп. Средняя Ахтуба были определены удельные площади

загрязнения территорий с учетом аэрозольных частиц, в том числе  $PM_{10}$ . Показатель поверхностной плотности частиц ( $m_0$ ,  $\text{мкг}\cdot\text{см}^{-2}$ ) является важным показателем, с помощью которого можно рассчитать удельную площадь загрязнения территорий мелкодисперсной пылью, что особенно значимо, поскольку имеются многочисленные данные, что именно частицы  $< 10$  мкм являются активаторами бесчисленных заболеваний в организме человека [13-15].

Так, площадь территории рп. Средняя Ахтуба составляет  $2 \text{ км}^2$  ( $20000000000 \text{ см}^2$ ), поверхностная плотность частиц ( $m_0$ ,  $\text{мкг}\cdot\text{см}^{-2}$ ) на листе абрикосовых деревьев (*Prunus armeniaca*) в 2018 году составила  $122,2 \text{ мкг}\cdot\text{см}^{-2}$ . Таким образом, удельная площадь загрязнения территории рп. Средняя Ахтуба за два сезона (весна-лето 2018 года) в общей сложности была определена как  $244 \cdot 10^{10}$  мкг или 2,44 тонны  $PM_{100}$ , из которых на долю  $PM_{2.5}$  пришлось –  $0,0432 \text{ т}\cdot\text{км}^{-2}$ ; на долю  $PM_{10}$  –  $1.025 \text{ т}\cdot\text{км}^{-2}$ , а на долю грубодисперсной пыли ( $PM_{>10}$ ) –  $1.3718 \text{ т}\cdot\text{км}^{-2}$ .

Исследованная площадь СНТ «Орошенец» и «Шельф» была аналогична площади рп. Средняя Ахтуба и составляла  $2 \text{ км}^2$  ( $20000000000 \text{ см}^2$ ), поверхностная плотность частиц ( $m_0$ ,  $\text{мкг}\cdot\text{см}^{-2}$ ) на листе абрикосовых деревьев (*Prunus armeniaca*) в 2018 году составила  $40,87 \text{ мкг}\cdot\text{см}^{-2}$ . Таким образом, удельная площадь загрязнения всей исследованной площади территории СНТ «Орошенец» и «Шельф» в среднем была определена приблизительно  $81,74 \cdot 10^{10}$  мкг или 0.8174 тонны  $PM_{100}$ , из которых на долю  $PM_{2.5}$  пришлось –  $0.0004 \text{ т}\cdot\text{км}^{-2}$ ; на долю  $PM_{10}$  –  $0.0362 \text{ т}\cdot\text{км}^{-2}$ , а на долю грубодисперсной пыли ( $PM_{>10}$ ) –  $0.78 \text{ т}\cdot\text{км}^{-2}$ .

**Выводы.** Проведенные исследования позволяют сделать вывод о том, удельная площадь аэрозольного загрязнения территории рп. Средняя Ахтуба в 3 раза выше по сравнению с условно-чистой зоной. Поверхностная плотность частиц ( $PM_{2.5}$ ) на территории рп. Средняя Ахтуба во 108

превышает значения по сравнению с условно-чистой зоной (СНТ «Орошенец», «Шельф»);  $PM_{2.5-10}$  – в 28 раз; грубодисперсной пыли ( $PM_{>10}$ ) – в 2 раза больше в рп. Средняя Ахтуба, чем в условно-чистой зоне. Количество частиц  $PM_{2.5}$  в рп. Средняя Ахтуба ненамного превышает значения условно-чистой зоны - всего в 1,76 раз; превышения по количеству частиц ( $PM_{2.5-10}$ ) – лишь в 1,19 раз, т.е. практически, исследуемые показатели находятся на одном уровне; грубо дисперсной пыли ( $PM>10$ ) – в 4 раз больше в СНТ, чем в рп. Средняя Ахтуба. Настораживает факт, что количество мелкодисперсных частиц в обеих зонах мало чем отличаются друг от друга и находятся практически на одном уровне, особенно по  $PM_{10}$ , но заметно отличаются их массовые доли и условные массы, поскольку в рп. Средняя Ахтуба по весу они тяжелее, в 108 раз. Это может свидетельствовать о том, что в мелкодисперсных частицах из рп. Средняя Ахтуба могут присутствовать соединения металлов и/или полуметаллов со значительным атомным весом, что требует дальнейших исследований и интерпретации полученных результатов. Высокое количество пылевидных частиц в условно-чистой зоне – СНТ «Орошенец», «Шельф», свидетельствует о том, что данная зона является «условной» в связи с вероятным природным загрязнением, выраженное, возможной флюидной активностью Земли и выносом из ее недр частиц, газов и других загрязняющих веществ, которые поступают в атмосферный воздух СНТ. В связи с этим по количеству мелкодисперсной пыли СНТ стоит на одном уровне с рп. Средняя Ахтуба. Исследуемые территории представляют интерес для дальнейших исследований и уточнения полученных результатов, в том числе поиска возможного источника природного загрязнения на обеих территориях для обеспечения экологической безопасности проживающего там населения и снижения экологических рисков.

---

## Литература

1. 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.2021. №6. URL:ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2012/668.
  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. Николаевский В.С., Козлова Е.А. Экологическая оценка загрязнения атмосферного воздуха и состояния лесных насаждений Пушкинского района Московской области // Лесной Вестник.2000. №6. С.37-42.
  4. Глазачева Г.И. и др. Состояние атмосферного воздуха г. Минска и прилегающего района // Новости науки и технологий.2011.№118). С.3-10.
  5. Месяц С.П. и др. Методический подход к оценке аэрозольного техногенного загрязнения по данным спутниковых наблюдений на примере горнопромышленного комплекса Мурманской области//Горная промышленность.2016. №6. (130). С.69-73.
  6. Luo Y.D. Age dependence accumulation of organochlorine pesticides and PAHs in needles with different forest types, southeast Tibetan Plateau // Science of the total Environment.2020.T.716. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2020.137176.
  7. Fasani D. [et al.] Analytical Method for Biomonitoring of PAH Using Leaves of Bitter Orange Trees (*Citrus aurantium*): a Case Study in South Spain // Water air and soil pollution.2016.T.227.issue10. DOI: 10.1007/s11270-016-3056-z.
  8. Barroso P.J. [et al.] Analytical method for the evaluation of the outdoor air contamination by emerging pollutants using tree leaves as bioindicators // Analytical and Bioanalytical Chemistry.2018.T.410.issue2.P.417-428. DOI: 10.1007/s00216-017-0733-8.
-

9. Barroso P.J. [et al.] Emerging contaminants in the atmosphere: Analysis, occurrence and future challenges // *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*.2019.Т.49.issue2.Р.104-171. DOI: 10.1080/10643389.2018.1540761.
10. Николаевский В.С. Экологическая оценка загрязнения среды и состояния наземных экосистем методами фитоиндикации. Пушкино: ВНИИЛМ, 2002. 220 с.
11. Dzierzanowski K. [et al.] Deposition of particulate matter of different size fractions on leaf surfaces and in waxes of urban forest species // *International Journal of Phytoremediation*.2011.Т.13.issue10.Р.1037-1046. DOI: 10.1080/15226514.2011.552929.
12. Lukowski A. [et al.] Particulate matter on foliage of *Betula pendula*, *Quercus robur*, and *Tilia cordata*: deposition and ecophysiology // *Environmental Science and Pollution Research*.2020.Т.27.issue10.Р. 10296-10307.DOI: 10.1007/s11356-020-07672-0.
13. Liu J.W. [et al.] Burden of typical diseases attributed to the sources of PM<sub>2.5</sub>-bound toxic metals in Beijing: An integrated approach to source apportionment and Qalys // *Environment International*.2019.Т.131. DOI: 10.1016/j.envint.2019.10504.
14. Fernando I.P.S. Beijing urban particulate matter-induced injury and inflammation in human lung epithelial cells and the protective effects of fucosterol from *Sargassum binderi* (Sonder ex J. Agardh) // *Environmental Research*.2019.Т.172.Р.150-158.DOI: 10.1016/j.envres.2019.02.016/
15. Sevalnev A.I. Actual problems of exposure risk assessment of finely dispersed aerosols and aerosols of nanoparticles // *Zaporzhhye Medical Journal*.2018.issue2. P.270-274.DOI: 10.14739/2310-1210.2018.2.125526.

## References

1. Rossinskaya M.V., Rossinskij N.P. Inzhenernyj Vestnik Dona.2021.№6. ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2012/668
  2. Zubareva E.G., Kuren' S.G., YUrtaev A.A. Inzhenernyj Vestnik Dona. 2018.№1. URL:ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2018/4642.
  3. Nikolaevskij V.S., Kozlova E.A. Lesnoj Vestnik.2000.№6.p.37-42.
  4. Glazacheva G.I. i dr. Novosti nauki i tekhnologij.2011.№118). Pp.3-10.
  5. Mesyac S.P. i dr. Gornaya promyshlennost'.2016.№6. (130). pp.69-73.
  6. Luo Y.D. Age dependence accumulation of organochlorine pesticides and PAHs in needles with different forest types, southeast Tibetan Plateau.Science of the total Environment.2020.T.716. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2020.137176.
  7. Fasani D. [et al.] Water air and soil pollution.2016.T.227.issue10. DOI: 10.1007/s11270-016-3056-z.
  8. Barroso P.J. [et al.] Analytical and Bioanalytical Chemistry.2018.T.410.issue2.p.417-428. DOI: 10.1007/s00216-017-0733-8.
  9. Barroso P.J. [et al.] Critical Reviews in Environmental Science and Technology.2019.T.49.issue2.p.104-171. DOI: 10.1080/10643389.2018.1540761.
  10. Nikolaevskij V.S. Ekologicheskaya ocenka gryazneniya sredy i sostoyaniya nazemnyh ekosistem metodami fitoindikacii. Pushkino [Environmental assessment of environmental pollution and the state of terrestrial ecosystems by phytoindication methods]: VNIILM, 2002. 220 p.
  11. Dzierzanowski K. [et al.] International Journal of Phytoremediation.2011.T.13.issue10.p.1037-1046.DOI: 10.1080/15226514.2011.552929.
  12. Lukowski A. [et al.] Environmental Science and Pollution Research.2020.T.27.issue10.p. 10296-10307.DOI: 10.1007/s11356-020-07672-0.
  13. Liu J.W. [et al.] Environment International.2019.T.131. DOI: 10.1016/j.envint.2019.10504.
-



14. Fernando I.P.S. Environmental Research.2019.T.172.P.150-158.DOI:  
10.1016/j.envres.2019.02.016/.

15. Sevalnev A.I. Zaporzhhye Medical Journal.2018.issue2. pp.270-274.  
DOI: 10.14739/2310-1210.2018.2.125526.