

СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА
BUILDING AND ARCHITECTURE

УДК 504.3.054

DOI: 10.21822/2073-6185-2022-49-1-104-111

Оригинальная статья/Original Paper

Экологический мониторинг металлических примесей в мелкодисперсной пыли (PM_{2.5}) населенных пунктов

И.Ю. Глинянова

Волгоградский государственный технический университет,
400005, г. Волгоград, пр. им. Ленина, 28, Россия

Резюме. Цель. Целью исследования является выявление металлических примесей в мелкодисперсной пыли (PM_{2.5}) в жилой зоне Средняя Ахтуба (Средне-ахтубинский район, Волгоградская область), подвергнутой действию антропогенного фактора (керамзитовые производства) в сравнительной характеристике с условно-чистой зоной (садовое некоммерческое товарищество (СНТ)) по показателям количества частиц (N_ч, %) и их массовой доли (D(d_ч), %). **Метод.** Отбор частиц (PM_{2.5}) с листьев абрикосовых деревьев и приготовление аэрозольных суспензий осуществлялись согласно международных методик. Выявление показателей количества и массовой доли частиц производилось на основании оптического метода по ГОСТу Р 56929-2016. **Результат.** Полученные значения по исследуемым показателям проверялись по T-критерию Вилкоксона и находили на уровне значимости $p < 0.05$. В жилой зоне Средней Ахтубы установлено в 35 раз превышения по массовой доле (D(d_ч), % частиц (PM_{2.5}) по сравнению с условно-чистой зоной и незначительное превышение по количеству частиц (в 2 раза) **Вывод.** На основании полученных результатов прогнозируются металлические примеси в мелкодисперсной пыли (PM_{2.5}) в жилой зоне Средней Ахтубы и экологические риски для проживающего там населения. Требуется совершенствование системы защиты городского хозяйства на предприятиях по производству керамзита и др., расположенных в промышленной зоне Средней Ахтубы.

Ключевые слова: PM_{2.5}, городское хозяйство, экологическая безопасность, экологический мониторинг, аэрозоли; экологические риски, металлические примеси

Для цитирования: И.Ю. Глинянова. Экологический мониторинг металлических примесей в мелкодисперсной пыли (PM_{2.5}) населенных пунктов. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2022; 49(1): 104-111. DOI:10.21822/2073-6185-2022-49-1-104-111

Environmental monitoring of metallic impurities in fine dust (PM_{2.5}) of settlements

I.Yu. Glinyanova

Volgograd State Technical University,
28 Lenin Ave., Volgograd 400005, Russia

Abstract. Objective. The aim of the study is to identify metallic impurities in fine dust (PM_{2.5}) in the residential area of Srednyaya Akhtuba (Sredneakhtubinsky rayon, Volgogradskaya oblast) exposed to the anthropogenic factor (expanded clay production) in a comparative characteristic with a relatively clean zone (garden non-profit partnership (SNT)) by indicators the number of particles (N_{PM_{2.5}}, %) and their mass fraction (D (d_{PM_{2.5}}), %). **Method.** The selection of particles (PM_{2.5}) from the leaves of apricot trees and the preparation of aerosol suspensions was carried out according to international methods. The identification of the number and mass fraction of particles was carried out on the basis of the optical method according to GOST R 56929-2016. **Result.** The obtained values for the studied parameters were checked by the Wilcoxon T-test and were found at a significance level of $p < 0.05$. In the residential area of Srednyaya Akhtuba, 35 times the mass fraction (D (d_{PM_{2.5}}), % of

particles (PM_{2.5}) exceeded the conditionally clean zone) and a slight increase in the number of particles (2 times) were found. **Conclusion.** Based on the results obtained metal impurities in fine dust (PM_{2.5}) in the residential area of Srednyaya Akhtuba and environmental risks for the population living there are predicted. It is necessary to improve the system of protection of the urban economy at the enterprises for the production of expanded clay, etc., located in the industrial zone of Srednyaya Akhtuba.

Keywords: PM_{2.5}, urban economy, environmental safety, environmental monitoring, aerosols; environmental risks, metallic impurities

For citation: I.Yu. Glinyanova. Environmental monitoring of metallic impurities in fine dust (PM_{2.5}) of settlements. Herald of Daghestan State Technical University. Technical Sciences. 2022; 49(1):104-111. (In Russ.) DOI:10.21822/2073-6185-2022-49-1-104-111

Введение. Мелкодисперсная пыль диаметром меньше 2.5 мкм способна аккумулировать в себе различные химические соединения, в том числе металлические примеси [3], [4] и оказывать негативное влияние на здоровье человека.

Так, известно, что в мелкодисперсной пыли (PM_{2.5}) могут содержаться, например, тяжелые металлы. Попадая в организм человека, они способны воздействовать на сигнальные системы головного мозга, на клетки органов и тканей, развивать онкологические и хронические заболевания [5]; увеличивать заболеваемость и смертность от сердечно-сосудистых, респираторных заболеваний, формировать злокачественные опухоли [6].

При этом тяжелые металлы считаются опасными в основном из-за их способности производить активные формы кислорода (АФК) в дыхательной системе человека [7]. Уровень АФК в клетках находится под контролем антиоксидантной системы, а его нарушение способствует дезадаптации клеток к новым условиям среды, нарушению течения метаболических реакций [8].

Поддержание на определенном уровне АФК тканей важно для регуляции нормальных физиологических процессов в организме: уровня неспецифической и специфической иммунной защиты, уровня периферического сосудистого тонуса, уровня самообновления мембран клетки и др. [9].

Такие тяжелые металлы, как Cr, Ni, Cu, Cd, Pb, Zn, Mn и Co в PM_{2.5} могут также влиять на патофизиологию многих сердечно-сосудистых заболеваний и являться токсичными для миокарда [10]. Тяжелые металлы в PM_{2.5} также способны разрушить целостность мембраны и способствовать проницаемости в эндотелиальных клетках сосудов, способствуя тем самым развитию сердечно-сосудистых заболеваний [11].

Никель (Ni), мышьяк (As) в мелкодисперсной пыли (PM_{2.5}) могут быть пусковым механизмом остановки сердца, резкого прекращения его механической активности, являться одной из наиболее частых причин смерти и влияют на патофизиологию многих других сердечно-сосудистых заболеваний [12].

Особую опасность в PM_{2.5} могут представлять токсичные металлы (Mn, Cd, Ni) в PM_{2.5}, которые могут быть значительно выше, чем в рекомендациях ВОЗ и быть связаны с хроническими обструктивными заболеваниями легких [13]. Хром (Cr) в PM_{2.5} может вызвать канцерогенный риск [14].

Приведенные примеры показывают актуальность и важность исследования металлических примесей в мелкодисперсной пыли, которые являются активаторами многочисленных заболеваний человека.

В последнее время большинство исследований посвящается исследованию мелкодисперсной пыли (PM_{2.5}) на листьях растений как эффективных пассивных мониторов загрязнений окружающей среды населенных пунктов.

Например, металлические примеси в PM_{2.5} обнаруживают на листьях груши (*Pyrus calleryana*) и липы европейской (*Tilia europaea Euchlora*) [15]; на листьях растения-паразита

(*Struthanthus flexicaulis*) [16]; на листьях тополя черного (*Populus nigra L.*) [17]; на иглах араукарии разнолистной (*Araucaria heterophylla*) [18] и др.

Автор в своем исследовании отбирал мелкодисперсную пыль на листьях абрикосовых деревьев (*Prunus armeniaca*) как наиболее популярном древесном растении Волгоградской области.

Постановка задачи. Целью данного исследования было изучение металлических примесей в мелкодисперсной пыли (PM_{2.5}) в жилой зоне рабочего поселка (рп) Средняя Ахтуба, подвергнутой действию антропогенного фактора (керамзитовые производства) в сравнительной характеристике с условно-чистой зоной (садовое некоммерческое товарищество (СНТ)) по показателям количества частиц ($N_q, \%$) и их массовой доли ($D(d_q), \%$).

Методы исследования. Материалом исследования послужили листья с аэрозольными частицами одного вида древесных растений (абрикосовые деревья (*Prunus armeniaca*)), где 1 образец составлял 300-400 см² площади листовой поверхности.

Листья отбирались с 10 деревьев (10 повторов) в конце вегетации (сентябрь 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 120 образцов.

Так, 1 образец листьев абрикосовых деревьев (*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 чего получались аэрозольные суспензии.

При осуществлении анализа диаметра частиц ($d_q, \mu\text{м}$), 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°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 аэрозольная частица.

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 исследовались на оптическом микроскопе.

Исследование пыли осуществляли с разностороннего фотографирования 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 ($N_q, \%$) и их массовой доли ($D(d_q), \%$) [19].

Обсуждение результатов. В табл. 1 представлены описательные статистики показателя массовой доли аэрозольных частиц ($D(d_{PM_{2.5}}), \%$) из рабочего поселка Средняя Ахтуба (экспериментальная территория) и СНТ «Орошенец», «Шельф» (условно-чистая зона), 2018 год.

Таблица 1. Описательные статистики показателя массовой доли аэрозольных частиц ($D(d_{PM2.5})$, %) из рп Средняя Ахтуба (экспериментальная территория) и СНТ «Орошенец», «Шельф» (условно-чистая зона), 2018 год
Table 1. Descriptive statistics of the indicator of the mass fraction of aerosol particles ($D(d_{PM2.5})$, %) from the Middle Akhtuba region (experimental territory) and SNT "Oroshenets", "Shelf" (a (relatively) clean location), 2018

$D(d_{PM2.5})$, %, 2018 год		
Описательные статистики Descriptive statistics	СНТ «Орошенец», «Шельф» SNT "Oroshenets", "Shelf"	Средняя Ахтуба Srednyaya Akhtuba
Среднее The average	0,050367	1,779083
Стандартная ошибка Standard error	0,006497	0,35792
Медиана Median	0,03	0,675
Мода Fashion	0,02	0,45
Стандартное отклонение Standard deviation	0,050322	2,772438
Дисперсия выборки Sample variance	0,002532	7,686414
Экцесс Excess	3,084032	9,454009
Асимметричность Asymmetry	1,86409	2,944236
Интервал Interval	0,207	14,72
Минимум Minimum	0,003	0
Максимум Maximum	0,21	14,72
Сумма Sum	3,022	106,745
Счет Check	60	60

В табл. 2 представлены описательные статистики показателя количества аэрозольных частиц ($N_{PM2.5}$, %) из рп Средняя Ахтуба (экспериментальная территория) и СНТ «Орошенец», «Шельф» (условно-чистая зона), 2018 год.

Измеренные значения исследуемых показателей проверялись на однородность и установления достоверности в них различий.

Верификация достоверности различий была реализована посредством использования аппарата проверки гипотез об однородности выборок с использованием критерия Т-Вилкоксона.

При проведении исследования значений показателя массовой доли частиц ($D(d_p)$, %), первой принята была выборка, содержащая измерения показателя массовой доли частиц ($D(d_{PM2.5})$, %) на экспериментальной территории (рп Средняя Ахтуба). Объем этой выборки: $n_1=60$.

Второй выборкой являлись измерения показателя массовой доли аэрозольных частиц ($D(d_{PM2.5})$, %) из условно-чистой зоны («Орошенец», СНТ «Шельф»). Объем этой выборки: $n_2=60$.

Таблица 2. Описательные статистики показателя массовой доли аэрозольных частиц ($N_{PM2.5}$), (%) из рп Средняя Ахтуба (экспериментальная территория) и СНТ «Орошенец», «Шельф» (условно-чистая зона), 2018 год

Table 2. Descriptive statistics for the mass fraction of aerosol particles ($N_{PM2.5}$), (%) from Srednyaya Akhtuba (experimental area) and SNT "Oroshenets", "Shelf" (a (relatively) clean location), 2018

(N _{PM2.5}), %, 2018 год		
Описательные статистики Descriptive statistics	СНТ «Орошенец», «Шельф» SNT "Oroshenets", "Shelf"	Средняя Ахтуба Srednyaya Akhtuba
Среднее The average	25,17783	44,37033
Стандартная ошибка Standard error	1,225989	2,362025
Медиана Median	24,55	41,995
Мода Fashion	39,58	22
Стандартное отклонение Standard deviation	9,496472	18,29617
Дисперсия выборки Sample variance	90,18298	334,7497
Экцесс Excess	-0,99621	0,51152
Асимметричность Asymmetry	0,172048	0,102698
Интервал Interval	34,24	91,57
Минимум Minimum	8,62	0
Максимум Maximum	42,86	91,57
Сумма Sum	1510,67	2662,22
Счет Check	60	60

Значение нижней критической точки:

$$w_{n.кр.}(Q, n_1, n_2) = \frac{(n_1 + n_2 + 1) \cdot n_1 - 1}{2} - z_{кр} \cdot \sqrt{\frac{n_1 \cdot n_2 \cdot (n_1 + n_2 + 1)}{12}}$$

$$w_{n.кр.}(0,025; 60; 60) = \frac{(60 + 60 + 1) \cdot 60 - 1}{2} - 1,96 \cdot \sqrt{\frac{60 \cdot 60 \cdot (60 + 60 + 1)}{12}} = 3256,1$$

Значение верхней критической точки:

$$w_{в.кр.} = (n_1 + n_2 + 1) \cdot n_1 - w_{н.кр.} = (60 + 60 + 1) \cdot 60 - 3256,1 = 4003,9$$

Наблюдаемое значение статистики (рассчитанное по эмпирическим данным) по Т-критерию Вилкоксона: $W_{набл.} = 5269,5$.

$W_{набл.} = 5269,5 > w_{в.кр.} = 4003,9$, поэтому нулевая гипотеза об однородности анализируемых выборок отвергалась и принималась конкурирующая гипотеза: $F(X) \neq G(Y)$ о неоднородности анализируемых выборок, содержащих данные измерений показателя массовой доли аэрозольных частиц ($D(d_{PM2.5})$, %) в жилой зоне рп Средняя Ахтуба (при проведении расчетов эти данные образовывали первую выборку) и результаты измерений показателя массовой доли аэрозольных частиц ($D(d_{PM2.5})$, %) условно-чистой зоны СНТ «Орошенец» (при проведении рас-

четов данные условно-чистой зоны образуют вторую выборку). При проведении исследования значений показателя количества частиц (N_q , %), первой принималась выборка, содержащая измерения показателя количества аэрозольных частиц ($N_{PM_{2.5}}$, %) на экспериментальной территории (рп Средняя Ахтуба). Объем этой выборки: $n_1=60$.

Второй выборкой являлись измерения показателя количества аэрозольных частиц ($N_{PM_{2.5}}$, %) из условно-чистой зоны («Орошенец», СНТ «Шельф»).

Объем этой выборки: $n_2=60$.

Значение нижней критической точки рассчитывалось аналогично выборкам массовой доли частиц и составляло: 3256,1.

Значение верхней критической точки:

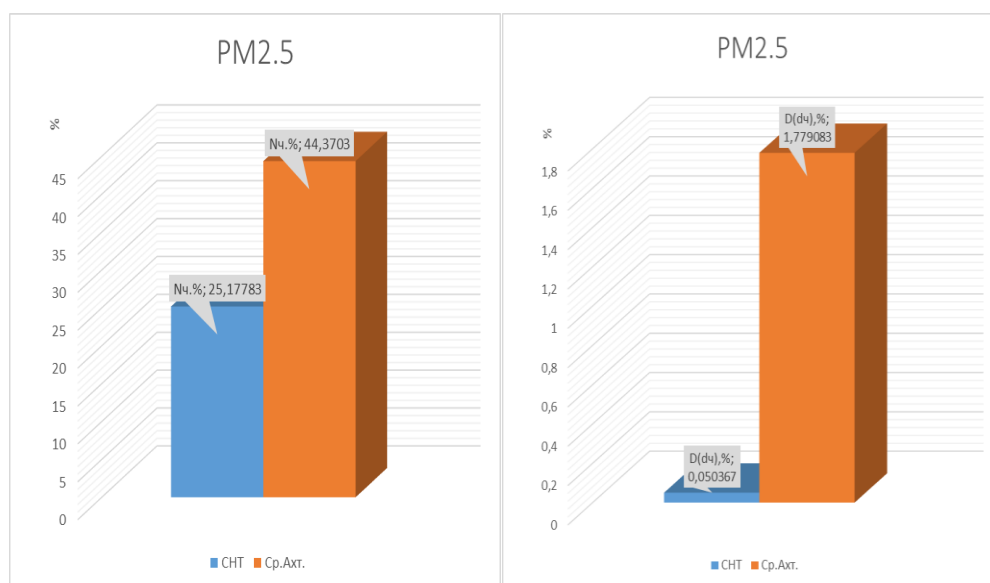
$$w_{в.кр.} = (n_1 + n_2 + 1) \cdot n_1 - w_{н.кр.} = (60 + 60 + 1) \cdot 60 - 3256,1 = 4003,9$$

Наблюдаемое значение статистики (рассчитанное по эмпирическим данным) Т-критерия Вилкоксона: $W_{набл.} = 4845$.

$W_{набл.} = 4845 > w_{в.кр.} = 4003,9$, поэтому нулевая гипотеза об однородности анализируемых выборок отвергалась и принималась конкурирующая гипотеза: $F(X) \neq G(Y)$ о неоднородности анализируемых выборок, содержащих данные измерений показателя количества аэрозольных частиц $PM_{2.5}$ ($N_{PM_{2.5}}$, %) экспериментальной зоны рп Средняя Ахтуба (при проведении расчетов эти данные образуют первую выборку) и результаты измерений показателя количества аэрозольных частиц $PM_{2.5}$ ($N_{PM_{2.5}}$, %) условно-чистой зоны СНТ «Орошенец», «Шельф» (при проведении расчетов данные условно-чистой зоны образовывали вторую выборку).

а)

б)



**Рис.1. Количество ($N_{PM_{2.5}}$, %), (а) и массовая доля ($D(d_{PM_{2.5}})$, %), (б) частиц
 Fig.1 Amount ($N_{PM_{2.5}}$, %), (a) and mass fraction ($D(d_{PM_{2.5}})$, %), (b) fine dust**

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

На рис. 1 продемонстрированы диаграммы по количеству частиц ($N_{PM_{2.5}}$, %) (а) и их массовой доле ($D(d_q)$, %) (б) в условно-чистой зоне по сравнению с экспериментальной территорией (Средняя Ахтуба).

Как видно из рис.1 установлено превышение в 35 раз по массовой доле мелкодисперсной пыли ($D(d_{PM_{2.5}})$, %) в жилой зоне рп Средняя Ахтуба по сравнению с условно-чистой зоной и незначительное превышение по количеству частиц ($N_{PM_{2.5}}$, %) (в 2 раза).

Вывод. Полученные данные свидетельствуют о наличии металлических примесей в мелкодисперсной пыли ($PM_{2.5}$) в жилой зоне рп Средняя Ахтуба и возможных экологических рисках для населения.

В этой связи необходимо установить долгосрочный мониторинг аэрозольных частиц в жилой зоне рп Средняя Ахтуба Среднеахтубинского района Волгоградской области; совершенствовать систему защиты атмосферного воздуха в индустриальном секторе рп Средняя Ахтуба, в котором действуют предприятия стройиндустрии и др.; осуществлять озеленение санитарно-защитных зон промышленных предприятий.

Библиографический список:

1. Dzierzanowski K, Popek R, Gawronska H, Saebo A, Gawronski S.W. Deposition of particulate matter of different size fractions on leaf surfaces and in waxes of urban forest species. *International Journal of Phytoremediation* 2011; 13: 1037-1046.
2. Lukowski A, Popek R, Karolewski P Particulate matter on foliage of *Betula pendula*, *Quercus robur*, and *Tilia cordata*: deposition and ecophysiology. *Environmental Science and Pollution Research* 2020; 27: 10296-10307
3. Pastuszka JS [etс] Characterization of PM10 and PM2.5 and associated heavy metals at the crossroads and urban back ground site in Zabrze, Upper Silesia, Poland, during the smog episodes// *Environmental monitoring and assessment*.2010;168 (1-4): 613-627.DOI10.1007/s10661-009-1138-8
4. Chen PF [etс] Assessment of heavy metal pollution characteristics and human health risk of exposure to ambient PM2.5 in Tianjin, China//*Particuology*.2015; 20:104-109.DOI10.1016/j.partic.2014.04.020
5. Abu-Elmagd M. [etс] 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;14(4).DOI10.3390/ijerph14040440
6. Garrison VH [etс] Inhalable desert dust, urban emissions, and potentially biotoxic metals in urban Saharan-Sahelian air//*Science of the total environment*.2014;500:383-394.DOI10.1016/j.scitotenv.2014.08.106
7. Lawrence AJ 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
8. Улащик В. С. Активные формы кислорода, антиоксиданты и действие лечебных физических факторов. Вопросы курортологии, физиотерапии и лечебной физической культуры. 2013. № 90 (1). С.60-69.
9. Донцов В.И. и др. Активные формы кислорода как система: значение в физиологии, патологии и естественном старении// *Труды ИСА РАН* 2006. Т. 19
10. Zhang YY [etс] Heavy metals bound to fine particulate matter from northern China induce season-dependent health risks: A study based on myocardial toxicity. *Environmental pollution*.2016;216:380-390.DOI10.1016/j.envpol.2016.05.072
11. Dai JW [etс] 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; 6(7):720-728.DOI10.1002/2211-5463.12077
12. Sielski J. [etс] The influence of air pollution by PM2.5, PM10 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
13. Nasir ZA [etс] Automotive related exposure to particulate air pollution in developing countries cities//*Journal of animal and plant sciences*.2015; 25(3):713-718.
14. Li YP [etс] Characteristics, sources and health risk assessment of toxic heavy metals in PM2.5 at a megacity of southwest China//*Environmental geochemistry and health*.38 (2):353-362.DOI10.1007/s10653-015-9722-z
15. Jouraeva V.A. [etс] Differences in accumulation of PAHs and metals on the leaves of *Tilia x euchlora* and *Pyrus calleryana*//*Environmental pollution*.2002; 120(2):331-338.DOI10.1016/S0269-7491(02)00121-5
16. de Paula PHM [etс] Biomonitoring of metals for air pollution assessment using a hemiepiphyte herb (*Struthanthus flexicaulis*)//*Chemosphere*.2015;138:429-437.DOI10.1016/j.chemosphere.2015.06.060
17. Levei L. [etс] Use of Black Poplar Leaves for the Biomonitoring of Air Pollution in an Urban Agglomeration//*Plants-basel*.2021;10(3).DOI10.3390/plants10030548
18. Mancheno T. Assessment of metals in PM10 filters and *Araucaria heterophylla* needles in two areas of Quito, Ecuador//*HELIYON*.2021.V.7.issue1.DOI10.1016/j.heliyon.2021.e05966
19. ГОСТ Р 56929-2016 Выбросы загрязняющих веществ в атмосферу. Исследование фракционного состава пыли оптическим методом при нормировании качества атмосферного воздуха

Reference:

1. Dzierzanowski K, Popek R, Gawronska H, Saebo A, Gawronski S.W. Deposition of particulate matter of different size fractions on leaf surfaces and in waxes of urban forest species. *International Journal of Phytoremediation* 2011; 13:1037-1046.
2. Lukowski A, Popek R, Karolewski P Particulate matter on foliage of *Betula pendula*, *Quercus robur*, and *Tilia cordata*: deposition and ecophysiology. *Environmental Science and Pollution Research* 2020; 27: 10296-10307
3. Pastuszka JS [etс] Characterization of PM10 and PM2.5 and associated heavy metals at the crossroads and urban back ground site in Zabrze, Upper Silesia, Poland, during the could episodes. *Environmental monitoring and as-sessment*.2010;168 (1-4): 613-627.DOI10.1007/s10661-009-1138-8
4. Chen PF [etс] Assessment of heavy metal pollution characteristics and human health risk of exposure to ambient PM2.5 in Tianjin, China. *Particuology*.2015; 20:104-109.DOI10.1016/j.partic.2014.04.020
5. Abu-Elmagd M. [etс] 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 envi ronmental research and public health* 2017;14(4).DOI10.3390/ijerph14040440
6. Garrison VH [etс] Inhalable desert dust, urban emissions, and potentially biotoxic metals in urban Saharan-Sahelian air//*Science of the total environment*.2014;500:383-394.DOI10.1016/j.scitotenv.2014.08. 106

7. Lawrence AJ 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
8. Ulashchik V. S. Reactive oxygen species, antioxidants and the effect of therapeutic physical factors. *Issues of balneology, physiotherapy and therapeutic physical culture*. 2013; 90 (1): 60-69. (In Russ).
9. Dontsov V.I. and others. Reactive oxygen species as a system: importance in physiology, pathology and natural aging. *Proceedings of the ISA RAS* 2006; 19 (In Russ).
10. Zhang YY [etс] Heavy metals bound to fine particulate matter from northern China induce season-dependent health risks: A study based on myocardial toxicity. *Environmental pollution*. 2016;216:380-390.DOI10.1016/j.envpol.2016.05.072
11. Dai JW [etс] 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; 6(7):720-728.DOI10.1002/2211-5463.12077
12. Sielski J. [etс] The influence of air pollution by PM2.5, PM10 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
13. Nasir ZA [etс] Automotive related exposure to particulate air pollution in developing countries cities. *journal of Animal and plant sciences*.2015; 25(3):713-718.
14. Li YP [etс] Characteristics, sources and health risk assessment of toxic heavy metals in PM2.5 at a megacity of southwest China. *Environmental geochemistry and health*.38(2):353-362.DOI10.1007/s10653-015-9722-z
15. Jouraeva V.A. [etс] Differences in accumulations of PAHs and metals on the leaves of *Tilia x euchlora* and *Pyrus calleryana*. *Environmental pollution*.2002; 120(2):331-338.DOI10.1016/S0269-7491(02)00121-5
16. de Paula PHM [etс] Biomonitoring of metals for air pollution assessment using a hemiepiphyte herb (*Struthanthus flexicaulis*). *Chemosphere*.2015;138:429-437.DOI10.1016/j.chemosphere.2015.06.060
17. Levei L. [etс] Use of Black Poplar Leaves for the Biomonitoring of Air Pollution in an Urban Agglomeration. *Plants-basel*.2021;10(3).DOI10.3390/plants10030548
18. Mancheno T. Assessment of metals in PM10 filters and *Araucaria heterophylla* needles in two areas of Quito, Ecuador//*HELIYON*.2021;7(1).DOI10.1016/j.heliyon.2021.e05966
19. GOST R 56929-2016 Emissions of pollutants into the atmosphere. Investigation of the fractional composition of dust by the optical method when normalizing the quality of atmospheric air. (In Russ).

Сведения об авторе:

Глинянова Ирина Юрьевна, кандидат педагогических наук, доцент кафедры безопасности жизнедеятельности в строительстве и городском хозяйстве; ecoris@yandex.ru, ORCID 0000-0003-1388-1233

Irina Yu. Glinyaynova, Cand. Sci. (Pedagogical), Assoc. Prof., Department of Life Safety in Construction and Urban Economy; ecoris@yandex.ru, ORCID 0000-0003-1388-1233

Конфликт интересов/Conflict of interest.

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов. The author declare no conflict of interest.

Поступила в редакцию/ Received 13.01.2022.

Одобрена после рецензирования/ Reviced 05.02.2022.

Принята в печать/Accepted for publication 05.02.2022.