

УДК 614.76:549.2

DOI 10.29039/2413-1725-2024-10-4-168-175

ВЛИЯНИЕ АКУСТИЧЕСКИХ ЭКРАНОВ АВТОМАГИСТРАЛЕЙ НА СОДЕРЖАНИЕ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ПРИЛЕГАЮЩИХ ПОЧВЕННЫХ ПОКРОВАХ

Парфенова А. Е.^{1,2}, Горбунов Р. В.²

¹Московский государственный строительный университет, Москва, Российская федерация

²ФИЦ «Институт биологии южных морей им. А. О. Ковалевского РАН», Севастополь, Российская федерация

E-mail: parfyonova.la@yandex.ru

В работе исследуется защитный эффект акустических экранов, расположенных вдоль Ярославского шоссе (трасса М 8, 24 км) на прилегающие почвенные покровы. Образцы почв отбирали на расстоянии 40–45 м за экраном и в местах технологических разрывов (повороты на второстепенные дороги). В полученных образцах определяли содержание тяжелых металлов: свинца, меди, цинка, кадмия, никеля, хрома, железа, олова, стронция. В работе использовали масс-спектрометр с индуктивно связанной плазмой – PlasmaQuant MS Elite S-NR:11-6000ST043 (Austria). Установлено, что акустические экраны позволяют существенно снизить содержание ТМ в почвенных покровах. Наибольший защитный эффект был выявлен в отношении меди, стронция и олова (снижение в 2–4 раза). В меньшей степени (30–35 %) он затрагивал содержание железа, свинца, хрома и никеля. В отношении кадмия защитный эффект выявлен не был. Содержание меди и кадмия в почвах в районе 24 км Ярославского шоссе существенно превышало ориентировочные допустимые концентрации ТМ в почвенных покровах (ОДК).

Ключевые слова: автомагистраль, акустические экраны, почвы, тяжелые металлы.

ВВЕДЕНИЕ

Известно, что крупные автомагистрали с интенсивным транспортным потоком являются основным источником загрязнения воздуха и прилегающих почвенных покровов тяжелыми металлами (ТМ) [1–4]. Наиболее значимыми среди них являются свинец, цинк, медь, в меньшей степени никель и кадмий [4]. О степени загрязнения ТМ почв позволяет судить Государственный временный гигиенический регламент максимального допустимого содержания экзогенного химического вещества в почвах – ориентировочная допустимая концентрация (ОДК) (ГН 2.1.7.2511-09) [5] (Ориентировочно..., 2009). Следует отметить, что после принятия Федерального закона от 22 марта 2003 г. № 34-ФЗ «О запрете производства и оборота этилированного автомобильного бензина в Российской Федерации» ситуация существенно улучшилась. Доля свинца в почвенных покровах снизилась. В загрязнении стали доминировать медь и цинк [4].

В последнее время стали обращать внимание на защитные акустические экраны, которые размещают вдоль автомагистралей для снижения степени

шумового воздействия на прилегающие территории [6]. Оказалось, что помимо основного назначения они выполняют и ряд второстепенных позитивных функций: снижают концентрацию взвешенных частиц в 10–12 раз; содержание оксида и диоксида азота в 3–10 раз, а уровень ТМ практически до нуля [6]. Последнее требует проверки. Трудно представить, что акустические экраны полностью устраняют негативное действие данного фактора на прилегающие почвенные покровы, учитывая ветровую деятельность.

В настоящей работе предлагается исследовать содержание ТМ в образцах почвы, взятой за экраном (40–45 м) и в местах технологических разрывов (повороты на второстепенные дороги) там, где защитное действие экрана не выражено. Сравнительное исследование позволит судить о степени снижения нагрузки ТМ на почвенные покровы, расположенные за акустическим экраном.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Полигон наблюдений

В качестве полигона наблюдений выбран 24 км Ярославского шоссе (трасса М8). Магистраль имеет 10 полос и характеризуется интенсивным транспортным потоком (рис. 1А). Акустический экран относится к Г-типу и имеет высоту 6.5 м (рис. 1Б). Местами имеются технологические разрывы для въезда с прилегающих территорий (рис. 1В). Ширина последних составляет 25–40 м.

Образцы почв получали при помощи почвенного бура на расстоянии 40–45 м от акустического экрана и мест въезда с прилегающих территорий: всего 5 точек (2 – за экраном; 3 – местах технологических разрывов). В каждой из точек образцы отбирали трижды в пределах 1 м²: всего 6 точек за экраном и 9 точек в местах отсутствия экрана.

Подготовка проб почвы для анализа

Пробоподготовка проводилась в соответствии с рекомендациями [7]. Образцы почвы просеивали через сито 1 см и высушивали в сушильном шкафу при 105 °С в течение 90 мин. Навеску почвы в 10 г заливали 50 мл азотной кислотой, разбавленной дистиллированной водой в соотношении 1:1. Полученную взвесь кипятили в течение 10 мин. Затем вносили 10 мл концентрированной перекиси водорода и повторно кипятили в течение 10 мин. Полученную суспензию фильтровали (фильтр «синяя лента») в мерную колбу (100 мл). Осадок заливали 40 мл 1М азотной кислотой и повторно кипятили в течение 30 мин. После охлаждения жидкость фильтровали в ту же мерную колбу. Фильтр промывали горячей азотной кислотой. После охлаждения объем доводился до 100 мл бидистиллятом. В полученном растворе определяли валовое содержание ТМ.

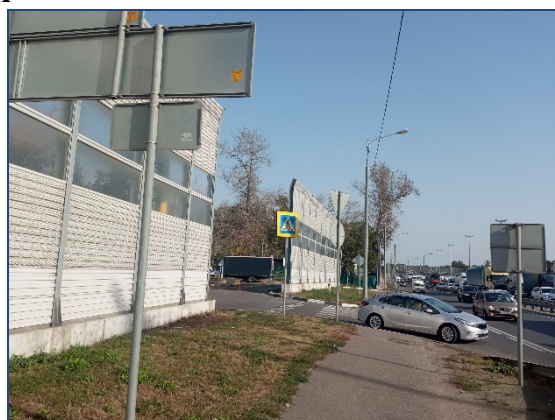
Определение содержания ТМ

Определение содержания ТМ проводили на базе ЦКП ФИЦ «Институт биологии южных морей им. А. О. Ковалевского РАН» г. Севастополь. В работе был задействован масс-спектрометр с индуктивно связанной плазмой – PlasmaQuant MS Elite S-NR:11-6000ST043 (Austria). Оценивали уровень свинца, меди, цинка, кадмия, никеля, хрома, железа, олова, стронция. Результаты выражали в мг кг⁻¹ почвы.



А

Б



Б

Рис. 1. Движение автотранспорта по Ярославскому шоссе (трасса М8) (А – общий вид транспортного потока машин; Б – акустический экран Г-типа; В – выезд машин с прилегающих территорий).

Статистический анализ

При проведении сравнительного анализа применен однофакторный дисперсионный анализ (ANOVA) PAST Version 4.09 software. Статистические сравнения проводили на основе непараметрического U-критерия Манна-Уитни. Цифровой материал обработан с использованием стандартного пакета Grapher (версия 7). Результаты представлены как $M \pm m$. Минимальный уровень значимости составлял $p < 0,05$. Объемы выборочных совокупностей указаны выше.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты исследований представлены в таблице 1. Максимальные значения были зарегистрированы для точек отбора почвенных проб № 1–3. Наиболее высокий уровень был отмечен для железа и меди: $205\text{--}247 \text{ мг кг}^{-1}$ и $132\text{--}213 \text{ мг кг}^{-1}$ соответственно. Уровень почвенного свинца, стронция, хрома и никеля был в 4–10 раз ниже – $17\text{--}56 \text{ мг кг}^{-1}$. Содержание кадмия составляло $1\text{--}4 \text{ мг кг}^{-1}$, а олова и цинка не превышало 1 мг кг^{-1} .

Таблица 1
Содержание ТМ в образцах почвы за акустическим экраном и в местах его отсутствия

Точки отбора проб	Тяжелые металлы, мг кг ⁻¹ почвы								
	Железо	Медь	Свинец	Стронций	Хром	Никель	Кадмий	Олово	Цинк
1	205,1±15,7	212,6±37,9	55,5±15,2	37,7±11,4	24,8±7,5	16,7±12,0	4,2±0,1	0,5±0,04	0,009±0,004
2	246,8±37,4	214,3±84,3	43,9±2,5	20,9±2,6	22,7±4,1	18,1±4,7	1,9±0,2	0,2±0,15	0,035±0,0012
3	218,5±69,2	131,6±33,5	23,5±1,1	55,1±0,8	22,4±0,6	23,0±13,0	2,4±0,4	0,5±0,19	0,008±0,004
4	164,1±22,2	81,8±18,3	27,8±5,5	17,1±3,3	21,1±6,2	20,5±1,3	3,7±0,4	0,1±0,09	0,007±0,0003
5	160,6±19,3	73,0±2,9	31,1±5,2	20,8±0,9	12,1±0,7	7,5±4,4	1,6±0,1	0,1±0,05	0,017±0,001

Примечание: образцы 1–3 взяты в местах отсутствия экрана; образцы 4,5 взяты за экраном

В образцах почвы № 4, 5 полученные значения содержания ТМ были практически во всех случаях ниже, что позволяет говорить о защитном эффекте акустического экрана. Для проведения статистического сравнения выборочные совокупности для проб № 1–3 и № 4, 5 объединяли в две самостоятельные выборки, которые представлены на рисунке 2.

Из графиков видно, что акустический экран снижал содержание ТМ в почвенном покрове. Исключение составил кадмий. Значения для первой и второй выборок были близкими: $2,8 \pm 0,2$ и $2,7 \pm 0,3$ мг кг⁻¹. Максимальные различия были зарегистрированы для меди, стронция и олова – 2–4 раза ($p < 0,05$). В отношении железа и цинка они находились на уровне 30 % ($p < 0,05$). В остальных случаях (свинец, хром, никель) снижение не было статистически значимо в виду вариабельности полученных значений.

Сопоставление полученных результатов с ориентировочными допустимыми концентрациями ТМ в почвенных покровах (ОДК) (ГН 2.1.7.2511-09) [5] позволяет констатировать существенное превышение уровня меди в местах отсутствия защитного экрана. Наличие экрана снижало уровень данного катиона, но полученные значения также превышали допустимый уровень (33 мг кг⁻¹). Следует обратить внимание также на высокое содержание кадмия. Величины ОДК ($0,5$ мг кг⁻¹) были превышены во всех точках отбора проб. Повышенный уровень свинца был выявлен в точках № 1 и 2. За экраном значения не превышали ОДК (32 мг кг⁻¹).

После запрета производства этилированного бензина (Федеральный закон от 22 марта 2003 г. № 34-ФЗ) содержание свинца в выхлопных газах автомобилей, как известно, снизилось, а меди возросло [4]. Это отражают и полученные в настоящей работе результаты: содержание меди в прилегающей к шоссе почве в разы превышало ОДК, тогда как свинца было близко к нормальных величинам.

Как уже отмечалось, характерной особенностью почвенных покровов в районе 24 км Ярославского шоссе явилось высокой содержание железа (более 200 мг кг⁻¹). Известно, что минеральные частицы природного фона, прошедшие через камеру внутреннего сгорания и выхлопную систему автомобиля, сорбируют на себе различные соединения, включая ТМ [8, 9]. В частности, макрочастицы (100 – 2000 мкм) содержат в

основном катионы железа [10, 11], что, по-видимому, и является основным источником загрязнения прилегающих к шоссе почвенных покровов. Доказательством данного положения является также обнаруженный в настоящей работе факт снижения содержания железа в почвах, расположенных за акустическим экраном.

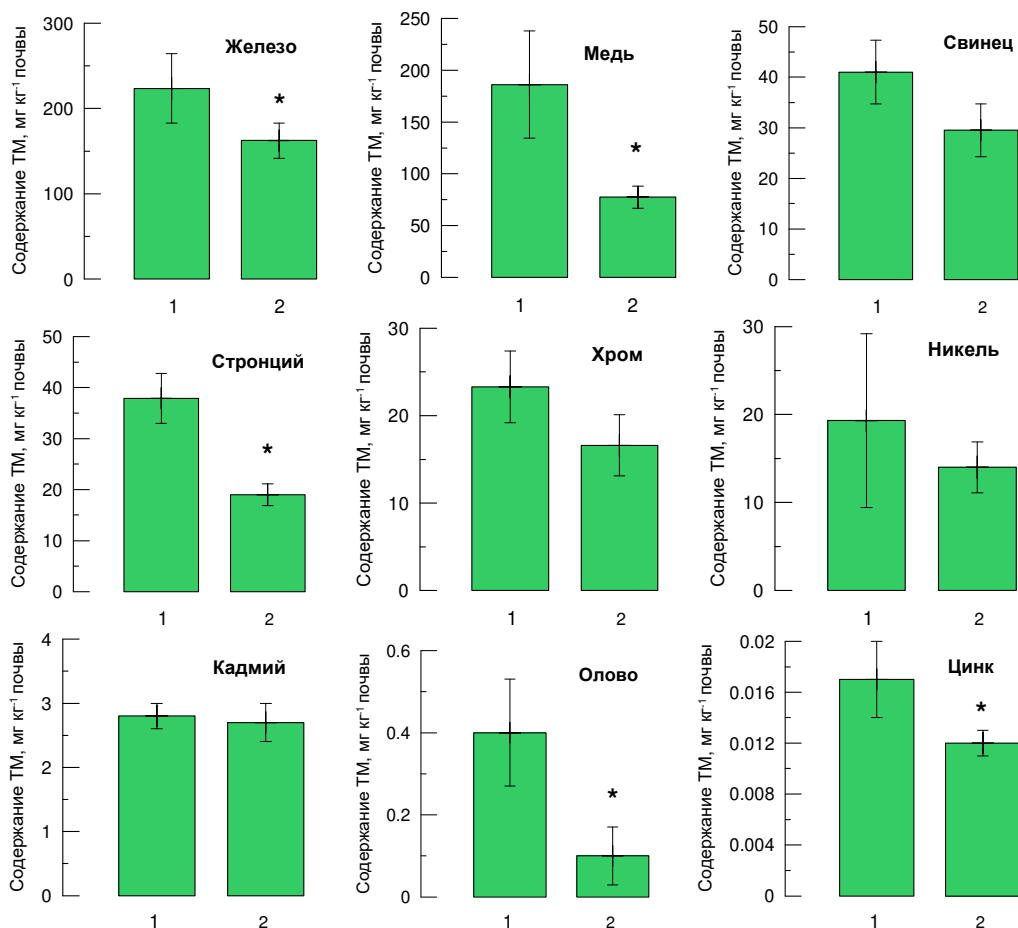


Рис. 2. Содержание ТМ в почвах, не защищенных акустическим экраном (1), и за защитным экраном (2) (*– достоверны при $p < 0,05$).

Повышенное содержание стронция, хрома, цинка и свинца в почвах, также скорее является следствием транспортной нагрузки на прилегающие к шоссе территории. Эти ТМ были обнаружены в микрочастицах (менее 100 мкм) продуктов сгорания масла и топлива автомобилей [10, 11]. Акустический экран также способствовал понижению их содержания в почвах.

Олово также обнаруживается в выхлопных газах автомобилей, особенно у машин со значительным пробегом [12, 13]. Уровень его в почве был невысок (менее

0,6 мг кг⁻¹), но экран существенно снижал его содержание в почве, что свидетельствует о его поступлении со стороны транспортного потока.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Из представленной информации следует, что акустические экраны, расположенные вдоль транспортных магистралей, позволяют существенно снизить содержание ТМ в почвенных покровах. Наибольший защитный эффект был выявлен в отношении меди, стронция и олова (снижение в 2–4 раза). В меньшей степени (30–35 %) он затрагивал содержание железа, свинца, хрома и никеля. В отношении кадмия защитный эффект выявлен не был. Содержание меди и кадмия в почвах в районе 24 км Ярославского шоссе существенно превышало ориентировочные допустимые концентрации ТМ в почвенных покровах (ОДК).

БЛАГОДАРНОСТИ

Автор благодарит сотрудников ЦКП «Спектрометрия и хроматография» ФИЦ ИнБЮМ и лично А. С. Гулина за оказанное содействие в определении ТМ в предоставленных образцах почвы.

Работа выполнена в рамках государственного задания № 124030100098-0

Список литературы

1. Johanson C. Road traffic emission factors for heavy metals / C. Johanson, M. G. Norman, L. Burman // Atmospheric Environment. – 2009. – Vol. 43, No 31. – P. 4681–4688.
2. Chen L. C. Effects of Metals within Ambient Air Particulate Matter (PM) on Human Health / L. C. Chen, M. Lippmann // Inhalation Toxicology. – 2009. – № 21. – P. 1–31.
3. Wei B. A review of heavy metal contaminations in urban soils, urban road dusts and agricultural soils from China / B. Wei, L. Yang // Microchem J. – 2010. – Vol. 94. Iss. 2. – P. 99–107.
4. Леонидова Т. В. Содержание тяжелых металлов в придорожной зоне автомобильных трасс / Т. В. Леонидова, Н. К. Сидоренкова, Н. А. Блохина, И. Д. Харитонов // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2019. – № 1. – С. 146–149.
5. Ориентировочно допустимые концентрации (ОДК) химических веществ в почве: Гигиенические нормативы. – М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2009. – 10 с.
6. Айрбабамян С. А. Виды шумозащитных экранов / С. А. Айрбабамян, Е.А. Бугарев // Известия МГТУ «МАМИ». – 2013. – Т. 4, № 1(15). – С. 134–138.
7. Самофалова И. А. Почвоведение: лабораторный практикум / И. А. Самофалова, Е. С. Лобанова. – Пермь: ИПЦ «Прокрость», 2021 – 139 с.
8. Amato F. Sources and variability of inhalable road dust particles in three European cities / F. Amato, et al // Atmos. Environ. – 2011. – Vol. 45, № 37. – P. 6777–6787.
9. Голохваст К. С. Твердые частицы выхлопных газов автомобилей / К. С. Голохваст, В. В. Чернышев, С. М. Угай. – Владивосток: Изд-во ДВФУ. 2014. – 104 с.
10. Бразовский В. В. Распределение твердых частиц выхлопных газов по размерам / В. В. Бразовский, В. А. Вагнер, В. В. Евстигнеев // Ползуновский вестник. – 2006. – Вып. 4. – С. 187–193.
11. Golokhvast K. S. Size-segregated emissions and metal content of particles emitted by vehicles with low and high mileage: implications to population exposure / K. S. Golokhvast, et al // Environmental Research. – 2015. – Vol. 142. – P. 479–485.
12. Голохваст К. С. Исследование качественного состава твердых частиц выхлопов ДВС автомобилей с пробегом более 100 000 км / К. С. Голохваст, В. В. Чернышев // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2014. – ОВ4. – С. 241–250.

13. Чернышев В. В. Исследование качественного состава твердых частиц выхлопов ДВС автомобилей без пробега / В. В. Чернышев, Ю. А. Васянович, А. С. Зубцова, К. С. Голохваст // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2014. – S6. – С. 160–167.

THE EFFECT OF ACOUSTIC SCREENS ON HIGHWAYS ON THE CONTENT OF HEAVY METALS IN ADJACENT SOIL

Parfenova A. E.^{1,2}, Gorbunov R. V.²

¹*Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russian Federation*

²*Federal Research Center "A.O. Kovalevsky Institute of Biology of the South Seas of the Russian Academy of Sciences", Sevastopol, Russian Federation*

E-mail: parfyonova.la@yandex.ru

It is known that large highways with heavy traffic flow are the main source of pollution of the air and adjacent soil with heavy metals (HM). The most significant among them are lead, zinc, copper, to a lesser extent nickel and cadmium. Recently, attention has been paid to protective acoustic screens, which are placed along highways to reduce the degree of noise impact on adjacent territories. It turned out that in addition to their main purpose, they perform a number of secondary positive functions: they reduce the concentration of suspended particles by 10–12 times; the content of nitrogen oxide and dioxide by 3–10 times, and the level of HM is almost zero. The latter requires verification. It is difficult to imagine that acoustic screens completely eliminate the negative effect of this factor on adjacent soil covers, taking into account wind activity.

In this paper, it is proposed to investigate the content of HM in soil samples taken behind the screen (40–45 m) and in places of technological breaks (turns on secondary roads) where the protective effect of the screen is not pronounced. A comparative study will allow us to judge the degree of reduction of the HM load on the soil covers located behind the acoustic screen.

24 km of the Yaroslavl highway (highway M8) was chosen as the observation range. The highway has 10 lanes and is characterized by heavy traffic. The acoustic screen belongs to the G-type and has a height of 6.5 m. In some places there are technological gaps for entry from adjacent territories. The width of the latter is 25–40 m. Soil samples were obtained using a soil drill at a distance of 40–45 m from the acoustic screen and entry points from adjacent territories: a total of 5 points (2 – behind the screen; 3 – places of technological gaps). In each of the points, samples were taken three times within 1 m²: a total of 6 points behind the screen and 9 points in places where there was no screen. The content of heavy metals was determined in the obtained samples: lead, copper, zinc, cadmium, nickel, chromium, iron, tin, strontium. The work used an inductively coupled plasma mass spectrometer – PlasmaQuant MS Elite S-NR: 11-6000ST043 (Austria).

It has been established that acoustic screens can significantly reduce the content of HM in soil covers. The greatest protective effect was found in relation to copper, strontium and tin (a decrease of 2–4 times). To a lesser extent (30–35 %), it affected the content of iron, lead,

chromium and nickel. No protective effect was detected with respect to cadmium. The content of copper and cadmium in soils in the area of 24 km of Yaroslavskoye highway significantly exceeded the approximate permissible concentrations of HM in soil covers (APC).

A characteristic feature of the soil cover in the area of 24 km of the Yaroslavl highway was the high iron content (more than 200 mg kg⁻¹). It is known that the mineral particles of the natural background that have passed through the internal combustion chamber and the exhaust system of the car absorb various compounds, including TM. In particular, the macroparticles (100–2000 μ) contain mainly iron cations, which, apparently, is the main source of pollution of the soil covers adjacent to the highway. The proof of this position is also the fact found in this work of a decrease in the iron content in soils located behind the acoustic screen. The increased content of strontium, chromium, zinc and lead in soils is also more likely a consequence of the traffic load on the territories adjacent to the highway. These HM were found in microparticles (less than 100 μ) of combustion products of oil and fuel of cars. The acoustic screen also contributed to a decrease in their content in soils. Tin is also found in car exhaust fumes, especially in vehicles with significant mileage. Its level in the soil was low (less than 0.6 mg kg⁻¹), but the screen significantly reduced its content in the soil, which indicates its entry from the transport stream.

Keywords: highway, acoustic screens, soils, heavy metals.

References

1. Johanson C., Norman M. G., Burman L. Road traffic emission factors for heavy metals. *Atmospheric Environment*. **43** (31), 4681 (2009).
2. Chen L. C., Lippmann M. Effects of Metals within Ambient Air Particulate Matter (PM) on Human Health. *Inhalation Toxicology*, **21**, 1 (2009).
3. Wei B., Yang L. A review of heavy metal contaminations in urban soils, urban road dusts and agricultural soils from China. *Microchem J.*, **94** (2), 99 (2010).
4. Leonidova T. V., Sidorenkova N. K., Blokhina N. A., Kharitonov I. D. The content of heavy metals in the roadside area of highways, *International Journal of Applied and Fundamental Research*, **1**, 146 (2019).
5. Approximate permissible concentrations (OPC) of chemicals in the soil: Hygienic standards. – M.: Federal Center for Hygiene and Epidemiology of Rospotrebnadzor, 10 p. (Moscow, 2009).
6. Ayrbabamyan S. A., Bugaev E.A. Types of noise shields. *Izvestia of MSTU "MAMI"*, **4** (1), 134 (2013).
7. Samofalova I. A., Lobanova E. S. *Soil science: laboratory workshop*, 139 (CPI "Prokrost", Perm, 2021).
8. Amato F. et al. Sources and variability of inhalable road dust particles in three European cities. *Atmos. Environ.* **45** (37), 6777 (2011).
9. Golokhvast K. S., Chernyshev V. V., Ugai S. M. *Solid particles of exhaust gases of cars*, 104 p. (Publishing House of FEFU, Vladivostok, 2014).
10. Brazovsky V. V., Wagner V. A., Evstigneev V. V. Distribution of solid particles of exhaust gases by size. *Polzunovsky bulletin*. **4**, 187 (2006).
11. Golokhvast K. S. et al. Size-segregated emissions and metal content of particles emitted by vehicles with low and high mileage: implications to population exposure. *Environmental Research*. **142**, 479 (2015).
12. Golokhvast K. S., Chernyshev V. V. Investigation of the qualitative composition of solid particles of exhaust from internal combustion engines of cars with a mileage of more than 100,000 km. *Mining information and analytical bulletin*. **OV4**, 241 (2014).
13. Chernyshev V. V., Vasyanovich Yu. A., Zubova A. S., Golokhvast K. S. Investigation of the qualitative composition of solid particles of exhaust from internal combustion engines of cars without mileage. *Mining information and analytical bulletin*. **S6**, 160 (2014).