



DOI 10.22363/2313-2310-2017-25-4-529-539

УДК 504.054:550.46:504.3.054:631.416.9

МЕТАЛЛЫ И МЕТАЛЛОИДЫ В ЧАСТИЦАХ PM10 ДОРОЖНОЙ ПЫЛИ ВОСТОЧНОЙ МОСКВЫ

Д.В. Власов

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова
Ленинские горы, 1, Москва, Россия, 119991

Цель исследования — впервые выявить особенности накопления металлов и металлоидов (ММ) во фракции PM10 дорожной пыли на разных по интенсивности движения дорогах восточной части Москвы (ВМ). Выделенные методом отмучивания PM10 изучались в муниципальных районах Соколиная гора, Перово, Ивановское, Новогиреево, Вешняки, Новокосино и Косино-Ухтомский Восточного административного округа (ВАО) Москвы. Концентрации ММ в PM10 определялись масс-спектральным и атомно-эмиссионным методами. Геохимическая специализация PM10 относительно верхней части континентальной коры имеет вид $Cd_{22}Ag_{21}Sb_{21}Sn_{11}Se_{10}Cu_9Bi_9Pb_8Zn_8Mo_7W_4Te_3S_2P_2$, что указывает на поступление этих ММ преимущественно от техногенных источников. Для остальных ММ преобладают природно-техногенные и природные источники. Обогащенность PM10 Zn увеличивается с ростом транспортной нагрузки, максимумы содержания Cu, Mo, Cr, Fe, V, Mn, Ba, Al, Ti и K характерны для крупных, а Sr, Nb, Ga, S, W, Pb и Te — средних дорог. Суммарное обогащение PM10 ММ максимально на средних и крупных дорогах, где формируется очень опасная экологическая ситуация, на МКАД и малых дорогах она снижается до опасной.

Ключевые слова: дорожная пыль, загрязнение, источники элементов, химический состав PM10

Введение

Аэрозоли — одни из главных источников поступления металлов и металлоидов в организмы наряду с пищей и водой. В настоящее время основное внимание уделяется экологически опасным частицам PM10 (диаметром менее 10 мкм), накапливающимся в верхних дыхательных путях [1]. Одним из источников поступления первичного аэрозоля в атмосферу городов является дорожная пыль: движение автотранспорта приводит к выдуванию пыли с дорожного полотна, что обуславливает поступление более половины массы частиц PM10 в атмосферу [2].

При отсутствии снежного покрова химический состав дорожной пыли является информативным объектом геохимического мониторинга городов, что позволяет выявить основные источники поступления ММ в городскую окружающую среду. В элементном плане лучше изучено распределение Cd, Pb, Zn, Cu, Ni, Cr, Mn, Fe, меньше — Sb, Bi, Mo, Ag, As и других ММ. Содержание ММ в гранулометрических фракциях пыли исследовано недостаточно. В большинстве работ анализируются фракции < 63, 63–250, 250–500, 500–1000 мкм, хотя наиболее экологически опасны менее изученные тонкие фракции пыли и ила (PM10, PM1).

В Москве в 2016 г. среднегодовые концентрации PM_{10} в воздухе составили $0,028 \text{ мг/м}^3$ или 0,71 ПДК [3]. По оценкам НИИ автомобильного транспорта, в период с 2011 по 2016 гг. несмотря на сильное увеличение территории города (расширение Москвы в 2012 г.) и рост количества транспортных средств, выбросы твердых частиц от транспорта сократились в 1,3 раза [3]. Вероятно, это произошло из-за использования более чистых марок бензина и повышения эффективности двигателей внутреннего сгорания: в 2002 г. на легковые автомобили класса Евро-0 приходилось около 74%, Евро-1 — 11%, Евро-2 — 8%, Евро-3 — 7% от всех автомобилей города, в то время как в 2012 г. основную массу составляли уже легковые автомобили класса Евро-3 (35%), Евро-4 (33%) и Евро-5 (10%) [4]. Выбросы твердых частиц от легковых автомобилей с дизельным двигателем, работающих на топливе Евро-5 и Евро-6, в 28—36 раз меньше по сравнению с Евро-1 и в 5 раз — по сравнению с Евро-4 [5].

Накопление ММ дорожной пылью изучалось лишь в нескольких городах России [6—9]. Поэтому цель работы — выявить особенности накопления ММ во фракции PM_{10} дорожной пыли на разных по интенсивности движения дорогах восточной части Москвы. Для этого решались следующие задачи:

- определение геохимической специализации PM_{10} дорожной пыли и установление степени обогащенности этих частиц ММ;
- выявление различий в составе PM_{10} на разных по интенсивности движения дорогах ВМ;
- эколого-геохимическая оценка опасности обогащения PM_{10} ММ.

Материалы и методы

Изучалась ВМ, включающая муниципальные районы Соколиная гора, Перово, Ивановское, Новогиреево, Вешняки, Новокосино и Косино-Ухтомский. Основные источники загрязнения здесь — ряд крупных промышленных зон, автомагистралей, ТЭЦ-11, районная тепловая станция «Перово» [10].

Дорожная пыль ($n = 16$) отбиралась в июле 2013 г. с поверхности дорожного полотна пластиковыми щеткой и совком в трех повторностях на расстоянии 5—10 м в каждой точке после пятидневного сухого периода на дорогах с различной интенсивностью движения (рис. 1): МКАД (около 250 тыс. автомобилей в сутки; точки 3, 5, 8); крупных улицах (80—100 тыс. автомобилей в сутки) — ш. Энтузиастов (т. 2, 16), Носовихинское ш. (т. 4); средних улицах (40—55 тыс.) — Б. Косинская ул. (т. 6), ул. Вешняковская (т. 9, 11), Свободный пр-т (т. 13), перекресток Зеленого пр-та, улиц Перовской и Плеханова (т. 15); малых улицах (20—25 тыс.) — Новогиреевская ул. (т. 1), ул. Дмитриевского (т. 7), перекресток улиц Молдагуловой и Снайперской (т. 10), Союзный пр-т (т. 12), перекресток улиц Metallургов и Мартеновская (т. 14).

Затем в Эколого-геохимическом центре МГУ методом отмучивания выделена фракция PM_{10} , химический состав которой определялся во ВНИИ минерального сырья имени Н.М. Федоровского масс-спектральным (ICP-MS) и атомно-эмиссионным (ICP-AES) методами с индуктивно связанной плазмой на масс-спектрометре “Elan-6100” и атомно-эмиссионном спектрометре “Optima-4300” (“Perkin Elmer”, США) соответственно аналитиками лаборатории.

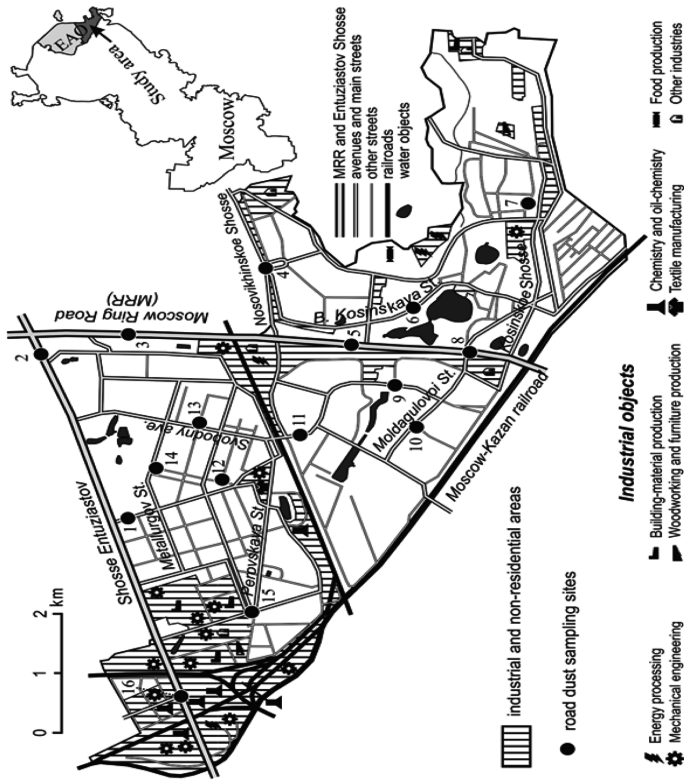


Fig. 1. Road dust sampling sites in the EM. EAO — Eastern Administrative Okrug

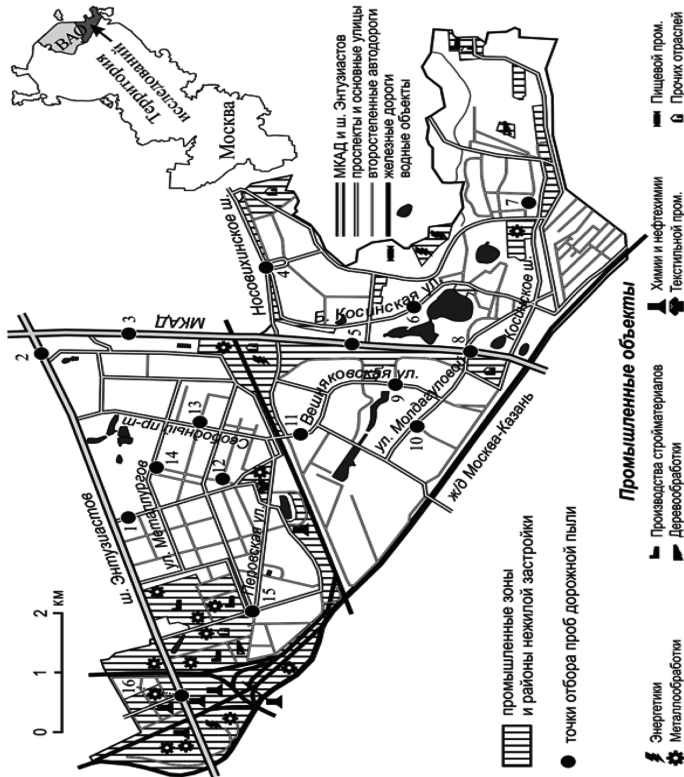


Рис. 1. Точки отбора проб дорожной пыли в EM

При обработке полученных данных использовались следующие показатели: коэффициент обогащения $K_e = (C / C_{\text{норм}})_{\text{проба}} / (C / C_{\text{норм}})_{\text{земн. кора}}$, где C и $C_{\text{норм}}$ — содержание исследуемого и нормирующего элементов соответственно в пробе и в верхней части континентальной земной коры (сравнение производится с земной корой из-за отсутствия фоновых аналогов дорожной пыли), мг/кг; суммарное обогащение Z_e дорожной пыли поллютантами: $Z_e = \sum K_e - (n - 1)$ при $K_e > 1,5$, где n — число элементов с $K_e > 1,5$ [9]. В качестве градаций экологической опасности для величины Z_e приняты уровни суммарного показателя загрязнения, разработанные для пылевой составляющей снега: < 32 — неопасный, $32-64$ — умеренно опасный, $64-128$ — опасный, $128-256$ — очень опасный, > 256 — чрезвычайно опасный [10]. В качестве нормирующего элемента была принята сумма концентраций редкоземельных элементов TR (Sc, Y, La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu).

Результаты и обсуждение

Концентрации Ag, Cd и Sb в частицах PM10 дорожной пыли ВМ примерно в 20 раз, Sn, Se, Cu, Bi, Pb, Zn и Mo в 6–10 раз, а W, S и P в 2–4 раза больше кларков верхней части континентальной коры. Близкие концентрации установлены для дорожной пыли других городов, в Цюрихе и испанской Жироне содержание некоторых ММ в PM10 в несколько раз больше, чем в ВМ [11].

Таблица

Содержание ММ в частицах PM10 дорожной пыли ВМ (С, мг/кг), кларки элементов (К, мг/кг) и интенсивность обогащения PM10 ММ (Metals and metalloids (MM) content in PM10 particles of the road dust in the Eastern Moscow (C, mg/kg), abundances of MM in the upper continental crust (K, mg/kg) and enrichment factor K_e (reference elements — rare-earth elements TR)

ММ	С	К	Источник кларка (References)	K_e	ММ	С	К	Источник кларка (References)	K_e
Li	25	33	[15]	0,8	Rb	48	110	[12]	0,5
Be	0,910	2,3	[15]	0,4	Sr	40	270	[15]	0,2
B	25	34	[15]	0,8	Zr	48	193	[13]	0,3
Al	18532	76100	[15]	0,3	Nb	1,4	12	[15]	0,1
P	1399	690	[15]	2,2	Mo	6,8	1,1	[13]	6,8
S	2138	953	[12]	2,5	Ag	1,0	0,053	[13]	21
K	4508	23240	[13]	0,2	Cd	1,8	0,09	[13]	22
Ti	806	3900	[15]	0,2	Sn	25	2,5	[12]	11
V	67	106	[14]	0,7	Sb	16	0,81	[15]	21
Cr	77	92	[15]	0,9	Te	0,062	0,027	[14]	2,5
Mn	432	770	[15]	0,6	Cs	3,2	4,9	[14]	0,7
Fe	28034	40600	[15]	0,8	Ba	178	628	[13]	0,3
Co	17	15	[14]	1,3	Hf	1,6	4,5	[15]	0,4
Ni	56	50	[15]	1,2	W	7,5	2,03	[15]	4,1
Cu	229	27	[14]	9,3	Tl	0,416	0,75	[12]	0,6
Zn	546	75	[15]	8,0	Pb	130	17	[15]	8,4

ММ	С	К	Источник кларка (References)	K_e	ММ	С	К	Источник кларка (References)	K_e
Ga	10	14	[12]	0,8	Bi	1,8	0,23	[14]	8,9
Ge	0,548	1,3	[15]	0,5	Th	9,1	10,5	[13]	0,96
As	8,2	5,6	[15]	1,6	U	2,6	2,5	[15]	1,1
Se	0,802	0,09	[13]	9,8	TR	171	189	[12—15]	—

Примечание. TR — сумма концентраций редкоземельных элементов, для которых использовались следующие оценки кларков верхней части континентальной земной коры: Y [12], Pr, Eu, Gd, Dy [13], Sc, Tm [14], La, Ce, Nd, Sm, Tb, Ho, Er, Yb, Lu [15].

Note. TR — the sum of the concentrations of rare-earth elements for which the following estimates of abundances in the upper continental crust were used: Y [12], Pr, Eu, Gd, Dy [13], Sc, Tm [14], La, Ce, Nd, Sm, Tb, Ho, Er, Yb, Lu [15].

Частицы PM10 обогащены Cd, Ag, Sb, Sn, Se, Cu, Bi, Pb, Zn, Mo, W, Te, S и P ($K_e > 2$), что указывает на поступление этих ММ преимущественно от техногенных источников (рис. 2), среди которых выделяют эмиссию частиц машинного масла и атмосферных выбросов сжигания топлива (Sb, Zn, Cu, Pb, Mo), абразию дорожного покрытия и разметки (Ag, Zn, As, W, Cr, V, Co), истирание шин (Sb, Cd, Zn, Pb, Cu, Co, Ni, Cr), износ тормозных колодок и легированных поверхностей (Sb, Ag, Zn, Cu, Pb, Ni, W, Cr) [16—18]. Для As, Co, Ni, U, Th, Cr, Li, B, Ga, Fe, Cs, V, Mn, Tl, Rb, Ge, Be, Hf, Ba, Zr, Al, Ti, K, Sr и Nb ($K_e < 2$) преобладают природно-техногенные и природные источники поступления — почвообразующие породы, почвы, природные строительные материалы для создания дорожного полотна и др. В среднем частицы PM10 обогащены (цифра — значение K_e) элементами Cd₂₂, Ag₂₁, Sb₂₁, Sn₁₁, Se₁₀, Cu₉, Bi₉, Pb₈, Zn₈, Mo₇, W₄, Te₃, S₂, P₂.

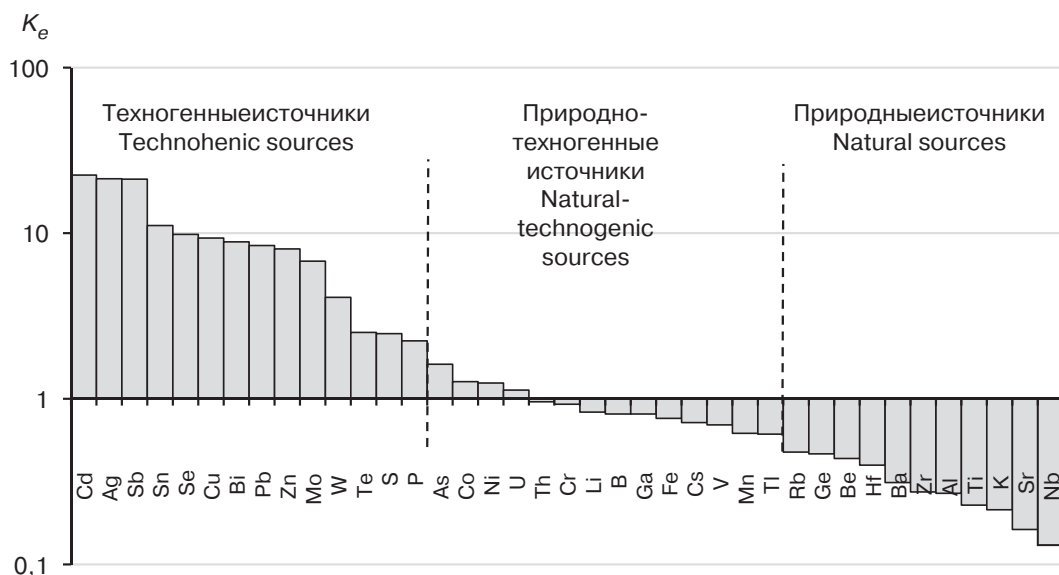


Рис. 2. Источники ММ во фракции PM10 дорожной пыли ВМ
 [Fig. 2. Sources of MM in PM10 particles of the road dust in the Eastern Moscow]

Количество и химический состав дорожной пыли зависит от режима движения, включая тип, скорость и количество маневров, связанных с остановкой [19; 20]. Обычно, с усилением интенсивности движения концентрации Cd, Cu, Pb, Zn, Ni, Ti, Mo, Fe, Zr, K и Ca в дорожной пыли увеличиваются [21]. В PM10 дорожной пыли ВМ в зависимости от характера связи с интенсивностью транспортной нагрузки элементы делятся на 4 группы: 1 — с усилением транспортной нагрузки K_e увеличивается у Zn; 2 — максимум K_e характерен для Cu, Mo, Cr, Fe, V, Mn, Ba, Al, Ti, K в PM10 на крупных дорогах; 3 — максимум K_e установлен для Sr, Nb, Ga, S, W, Pb, Te в PM10 на средних дорогах; 4 — K_e слабо отличается на разных дорогах у Sn, As, Sb, Se, Ge, Bi, Ni, Cd, Be, Ag, P, B, U, Hf, Rb, Cs, Li, Tl, Zr, Th и Co (рис. 3).

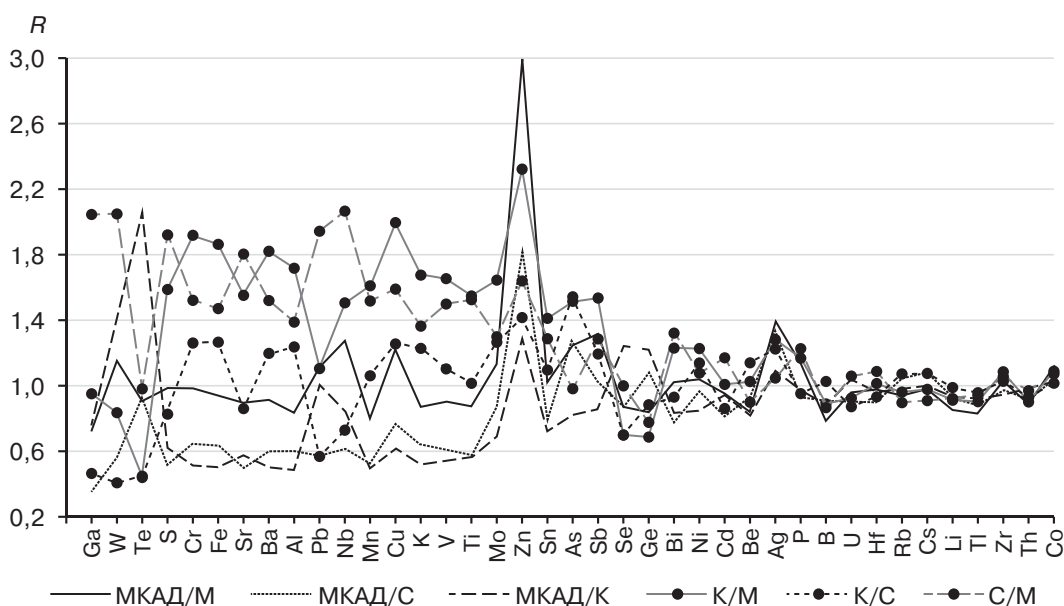


Рис. 3. Отношения K_e ММ в пыли разных дорог (R, раз):

М — малых; С — средних; К — крупных и МКАД

[Fig. 3. Relations of enrichment factors K_e of MM in PM10 particles of the road dust on different roads of Eastern Moscow (R, times): M — small roads; C — medium roads; K — large roads; МКАД — Moscow Ring Road]

Обогащенность PM10 ММ на дорогах с разным по интенсивности транспортным потоком объясняется двумя причинами. Первая — «механическая»: из-за выдувания мелких частиц с дорожного полотна при росте скоростей движения транспорта и большей продуваемости крупных магистралей по сравнению с малыми в дорожной пыли постепенно увеличивается доля крупных частиц. На малых и средних улицах выбросы транспорта содержат большее количество мелких частиц за счет истирания тормозных колодок, шин и дорожного покрытия в результате частых прерываний движения из-за большого количества светофоров, остановок общественного транспорта, дорожных пробок и др. Так, заторы, уменьшающие скорость транспортного потока до 20 км/ч, приводят к увеличению выбросов на 30% [22]. Вторая — «химическая»: различия в химической

специализации выбросов разных типов транспорта. Так, на малых и средних внутриквартальных дорогах велика доля пассажирского транспорта (автобусов, троллейбусов, микроавтобусов и др.), а на крупных магистралях и МКАД их доля уменьшается одновременно с увеличением количества грузовых и легковых автомобилей. Согласно работе [3], в Москве концентрации CO и NO₂ в воздухе рядом с автотрассами в пределах третьего транспортного кольца почти в 2 раза выше, чем на удалении от центра города (в пределах от третьего транспортного кольца до МКАД). При этом, 56% всех твердых частиц поставляют грузовые автомобили массой более 3,5 т, 29% — автобусы, 10% — легковые автомобили и 5% — грузовые массой менее 3,5 т [3].

Наиболее сильно концентрируют ММ частицы PM10 на средних и крупных дорогах, где Z_e составляет 135, что соответствует очень высокому уровню с очень опасной экологической ситуацией. Этот коэффициент уменьшается как с ростом интенсивности движения, равняясь на МКАД 125 единицам, так и с его снижением — в PM10 на малых дорогах он опускается на 33 единицы до 102, что в обоих случаях формирует сильное загрязнение с опасной экологической ситуацией. Это, вероятно, связано с различиями в химическом составе выбросов и структуре автопарка на разных типах дорог.

Выводы

1. Геохимическая специализация частиц PM10 дорожной пыли ВМ имеет вид (в единицах K_e) Cd₂₂Ag₂₁Sb₂₁Sn₁₁Se₁₀Cu₉Bi₉Pb₈Zn₈Mo₇W₄Te₃S₂P₂, что указывает на поступление этих ММ преимущественно от техногенных источников. Для As, Co, Ni, U, Th, Cr, Li, B, Ga, Fe, Cs, V, Mn, Tl, Rb, Ge, Be, Hf, Ba, Zr, Al, Ti, K, Sr и Nb преобладают природно-техногенные и природные источники.

2. Интенсивность обогащения PM10 ММ зависит от типа дороги. Обогащенность PM10 Zn увеличивается с ростом транспортной нагрузки, максимумы содержания Cu, Mo, Cr, Fe, V, Mn, Ba, Al, Ti и K в PM10 характерны для крупных дорог, а Sr, Nb, Ga, S, W, Pb и Te — средних дорог, что связано с выдуванием частиц и различием в химической специализации выбросов разных типов транспорта. Концентрации Sn, As, Sb, Se, Ge, Bi, Ni, Cd, Be, Ag, P, B, U, Hf, Rb, Cs, Li, Tl, Zr, Th и Co в PM10 слабо зависят от величины транспортного потока.

3. В частицах PM10 дорожной пыли ВМ формируются контрастные техногенные геохимические аномалии Cd, Ag, Sb, Sn, Se, Cu, Bi, Pb, Zn и Mo на средних и крупных дорогах, на которых, вероятно, из-за небольших скоростей ветра накапливаются эти частицы, что усиливает загрязнение воздуха и формируется очень опасная экологическая ситуация. На МКАД и малых дорогах она снижается до опасной.

Информация о конфликте интересов:

Конфликт интересов отсутствует.

Финансирование:

Изучение обогащенности PM10 ММ осуществлялось по проекту Русского географического общества (договор № 04/2017-И), влияния интенсивности движения транспорта

на состав PM₁₀ — Российского научного фонда (проект № 14-27-00083), обобщение данных — Русского географического общества и Российского фонда фундаментальных исследований (договор № 03/2017/РГО-РФФИ).

Благодарности:

Автор благодарен Н.С. Касимову и Н.Е. Кошелевой за полезные советы и критические замечания.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] *Tager I.B.* Health effects of aerosols: Mechanisms and epidemiology // Ruzer L.S., Harley N.H., editors. *Aerosols Handbook: Measurement, dosimetry, and health effects*. Boca Raton: CRC Press, 2005. P. 619—696.
- [2] *epa.gov* [Internet]. United States Environmental Protection Agency. National Emissions Inventory [дата обращения: 21.10.2017]. URL: <https://www.epa.gov/air-emissions-inventories/2014-national-emissions-inventory-nei-data>
- [3] Доклад о состоянии окружающей среды в городе Москве в 2016 году / под ред. А.О. Кульбачевского. М.: ДПиООС; НИиПИ ИГСП, 2017.
- [4] *Донченко В., Кунин Ю., Рузский А., Виженский В.* Методы расчета выбросов от автотранспорта и результаты их применения // Журнал автомобильных инженеров. 2014. № 3. С. 44—51.
- [5] *dieselnet.com* [Internet]. DieselNet. Emission standards. EU: cars and light trucks [дата обращения: 21.10.2017]. URL: <https://www.dieselnet.com/standards/eu/ld.php>
- [6] *Кайгородов Р.В., Тиунова М.И., Дружинина А.В.* Загрязняющие вещества в пыли проезжих частей дорог и в древесной растительности придорожных полос городской зоны // Вестник Перм. ун-та. Сер. биол. 2009. Вып. 10 (36). С. 141—146.
- [7] *Ладонин Д.В., Пляскина О.В.* Изотопный состав свинца в почвах и уличной пыли Юго-Восточного административного округа г. Москвы // Почвоведение. 2009. № 1. С. 106—118.
- [8] *Прокофьева Т.В., Шишков В.А., Кирюшин А.В., Калушин И.Ю.* Свойства твердых (пылеаэрозольных) атмосферных выпадений придорожных территорий г. Москвы // Известия РАН. Сер. геогр. 2015. № 3. С. 107—120.
- [9] *Власов Д.В., Касимов Н.С., Кошелева Н.Е.* Геохимия дорожной пыли (Восточный округ г. Москвы) // Вестник Моск. ун-та. Сер. 5, геогр. 2015. № 1. С. 23—33.
- [10] *Касимов Н.С., Власов Д.В., Кошелева Н.Е., Никифорова Е.М.* Геохимия ландшафтов Восточной Москвы. М.: АПР, 2016. 276 с.
- [11] *Amato F., Pandolfi M., Moreno T., Furger M., Pey J., Alastuey A., Bukowiecki N., Prevot A.S.H., Baltensperger U., Querol X.* Sources and variability of inhalable road dust particles in three European cities // *Atmospheric Environment*. 2011. Vol. 45. P. 6777—6787.
- [12] *Wedepohl K.H.* The composition of the continental crust // *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 1995. Vol. 59. No. 7. P. 1217—1232.
- [13] *Rudnick R.L., Gao S.* Composition of the continental crust // Rudnick R.L., editor. *Treatise on geochemistry*. Vol. 3: The Crust. Elsevier Science, 2003. P. 1—64.
- [14] *Hu Z., Gao S.* Upper crustal abundances of trace elements: A revision and update // *Chemical Geology*. 2008. Vol. 253. Iss. 3—4. P. 205—221.
- [15] *Григорьев Н.А.* Распределение химических элементов в верхней части континентальной коры. Екатеринбург: УрО РАН, 2009. 382 с.
- [16] *Adachi K., Tainosho Y.* Characterization of heavy metal particles embedded in tire dust // *Environment International*. 2004. Vol. 30. P. 1009—1017.
- [17] *Charlesworth S.M., De Miguel E., Ordoñez A.* A review of the distribution of particulate trace elements in urban terrestrial environments and its application to considerations of risk // *Environmental Geochemistry and Health*. 2011. Vol. 33. Iss. 2. P. 103—123.

- [18] *Limbeck A., Puls C.* Particulate emissions from on-road vehicles // Zereini F., Wiseman C.L.S., editors. *Urban airborne particulate matter: origin, chemistry, fate and health impacts*. Heidelberg: Springer-Verlag Berlin, 2011. P. 63—79.
- [19] *Irvine K.N., Perrelli M.F., Ngoen-klan R., Droppo I.G.* Metal levels in street sediment from an industrial city: spatial trends, chemical fractionation, and management implications // *Journal of Soils and Sediments*. 2009. Vol. 9. P. 328—341.
- [20] *Nazzari Y., Rosen M.A., Al-Rawabden A.M.* Assessment of metal pollution in urban road dusts from selected highways of the Greater Toronto Area in Canada // *Environmental Monitoring and Assessment*. 2013. Vol. 185. P. 1847—1858.
- [21] *Duong T.T., Lee B.K.* Determining contamination level of heavy metals in road dust from busy traffic areas with different characteristics // *Journal of Environmental Management*. 2011. Vol. 92. P. 554—562.
- [22] *Касимов Н.С., Битюкова В.П., Малхазова С.М., Кошелева Н.Е., Никуфорова Е.М., Шартова Н.В., Власов Д.В., Тимонин С.А., Крайнов В.Н.* Регионы и города России: интегральная оценка экологического состояния. М.: ИП Филимонов М.В., 2014. 560 с.

© Власов Д.В., 2017

История статьи:

Дата поступления в редакцию: 28.11.2017

Дата принятия к печати: 20.12.2017

Для цитирования:

Власов Д.В. Металлы и металлоиды в частицах PM₁₀ дорожной пыли Восточной Москвы // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2017. Т. 25. № 4. С. 529—539. DOI: 10.22363/2313-2310-2017-25-4-529-539

Сведения об авторе:

Власов Дмитрий Валентинович — кандидат географических наук, научный сотрудник кафедры геохимии ландшафтов и географии почв Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова. E-mail: vlasgeo@yandex.ru

METALS AND METALLOIDS IN PM₁₀ FRACTION OF THE ROAD DUST OF EASTERN MOSCOW

D.V. Vlasov

Lomonosov Moscow State University
Leninskie Gory, 1, Moscow, Russia, 119991

The aim of the study is to reveal the features of the accumulation of metals and metalloids (MM) in the PM₁₀ fraction of road dust at different traffic levels in the eastern part of Moscow. Highlighted by elutriation PM₁₀ particles were studied in the municipal areas of Sokolinaya Gora, Perovo, Ivanovo, Novogireevo, Veshnyaki, Novokosino and Kosino-Ukhtomsky of Eastern Administrative District of Moscow. The concentrations of MM in PM₁₀ were determined by mass-spectral and atomic-emission methods. The geochemical specialization of PM₁₀ fraction relative to the upper continental crust has the form $Cd_{22}Ag_{21}Sb_{21}Sn_{11}Se_{10}Cu_9Bi_9Pb_8Zn_8Mo_7W_4Te_3S_2P_2$, which indicates the technogenic sources of these MM. For the rest MM natural-technogenic and natural sources predominate. The enrichment

of the PM10 with Zn increases with the growth of the transport load, the maximum contents of Cu, Mo, Cr, Fe, V, Mn, Ba, Al, Ti and K are typical for large roads, and Sr, Nb, Ga, S, W, Pb and Te for medium roads. The total enrichment of PM10 with MM is maximized on medium and large roads, where a very dangerous ecological situation is formed, on the Moscow Ring Road and small roads it decreases to a dangerous.

Key words: road dust, pollution, sources of chemical elements, chemical composition of PM10

REFERENCES

- [1] Tager I.B. Health effects of aerosols: Mechanisms and epidemiology. In: Ruzer L.S., Harley N.H., editors. *Aerosols Handbook: Measurement, dosimetry, and health effects*. Boca Raton: CRC Press; 2005. P. 619—696.
- [2] epa.gov [Internet]. United States Environmental Protection Agency. National Emissions Inventory [cited 2017 October 21]. Available from: <https://www.epa.gov/air-emissions-inventories/2014-national-emissions-inventory-nei-data>
- [3] Kul'batchevskii A.O., editor. Report on the state of the environment in the city of Moscow in 2016. Moscow: DPiOOS; NiiPI IGSP, 2017 (In Russ).
- [4] Donchenko V., Kunin J., Ruzsky A., Vizhensky V. Methods for estimating emissions from vehicles and their application. *Zhurnal avtomobil'nykh inzhenerov*. 2014; (3): 44—51 (In Russ).
- [5] dieselnets.com [Internet]. DieselNet. Emission standards. EU: cars and light trucks [cited 2017 October 21]. Available from: <https://www.dieselnets.com/standards/eu/ld.php>
- [6] Kaygorodov R.V., Tiunova M.I., Druzshinina A.A. Polluting substances in a dust of travellers of parts and in wood vegetation of roadside strips of a city zone. *Vestnik Permskogo Universiteta, Seriya: Biologiya*. 2009; 10(36): 141—146 (In Russ).
- [7] Ladonin D.V., Plyaskina O.V. Isotopic composition of lead in soils and street dust in the Southeastern administrative district of Moscow. *Eurasian Soil Science*. 2009; 42(1): 93—104. doi: 10.1134/S1064229309010128.
- [8] Prokof'eva T.V., Shishkov V.A., Kiryushin A.V., Kalushin I.Yu. Properties of atmospheric solid fallouts in roadside areas of Moscow. *Izvestiya Rossiiskoi Akademii Nauk. Seriya Geograficheskaya*. 2015; (3): 107—120 (In Russ).
- [9] Vlasov D.V., Kasimov N.S., Kosheleva N.E. Geochemistry of the road dust in the Eastern district of Moscow. *Vestnik Moskovskogo Universiteta, seriya Geografiya*. 2015; (1): 23—33 (In Russ).
- [10] Kasimov N.S., Vlasov D.V., Kosheleva N.E., Nikiforova E.M. Landscape geochemistry of Eastern Moscow. Moscow: APR, 2016 (In Russ).
- [11] Amato F., Pandolfi M., Moreno T., Furger M., Pey J., Alastuey A., Bukowiecki N., Prevot A.S.H., Baltensperger U., Querol X. Sources and variability of inhalable road dust particles in three European cities. *Atmospheric Environment*. 2011; 45: 6777—6787. doi: 10.1016/j.atmosenv.2011.06.003.
- [12] Wedepohl K.H. The composition of the continental crust. *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 1995; 59(7): 1217—1232. doi: 10.1016/0016-7037(95)00038-2.
- [13] Rudnick R.L., Gao S. Composition of the continental crust. In: Rudnick RL, editor. *Treatise on geochemistry. Vol. 3: The Crust*. Elsevier Science; 2003. P. 1—64. doi: 10.1016/B0-08-043751-6/03016-4
- [14] Hu Z., Gao S. Upper crustal abundances of trace elements: A revision and update. *Chemical Geology*. 2008; 253(3—4): 205—221. doi: 10.1016/j.chemgeo.2008.05.010.
- [15] Grigor'ev N.A. Distribution of chemical elements in the upper continental crust. Yekaterinburg: UrO RAN, 2009 (In Russ).
- [16] Adachi K., Tainosho Y. Characterization of heavy metal particles embedded in tire dust. *Environment International*. 2004; 30: 1009—1017. doi: 10.1016/j.envint.2004.04.004.
- [17] Charlesworth S.M., De Miguel E., Ordoñez A. A review of the distribution of particulate trace elements in urban terrestrial environments and its application to considerations of risk. *Environmental Geochemistry and Health*. 2011; 33(2): 103—123. doi: 10.1007/s10653-010-9325-7

- [18] Limbeck A., Puls C. Particulate emissions from on-road vehicles. In: Zereini F., Wiseman C.L.S., editors. *Urban airborne particulate matter: origin, chemistry, fate and health impacts*. Heidelberg: Springer-Verlag Berlin; 2011. P. 63—79. doi: 10.1007/978-3-642-12278-1_4
- [19] Irvine K.N., Perrelli M.F., Ngoen-klan R., Droppo I.G. Metal levels in street sediment from an industrial city: spatial trends, chemical fractionation, and management implications. *Journal of Soils and Sediments*. 2009; 9: 328—341. doi: 10.1007/s11368-009-0098-5
- [20] Nazzal Y., Rosen M.A., Al-Rawabden A.M. Assessment of metal pollution in urban road dusts from selected highways of the Greater Toronto Area in Canada. *Environmental Monitoring and Assessment*. 2013; 185: 1847—1858. doi: 10.1007/s10661-012-2672-3
- [21] Duong T.T.T., Lee B.K. Determining contamination level of heavy metals in road dust from busy traffic areas with different characteristics. *Journal of Environmental Management*. 2011; 92: 554—562. doi: 10.1016/j.jenvman.2010.09.010
- [22] Kasimov N.S., Bityukova V.R., Malkhazova S.M., Kosheleva N.E., Nikiforova E.M., Shartova N.V., Vlasov D.V., Timonin S.A., Krainov V.N. Regions and cities of Russia: the integrated assessment of the environment. Moscow: IP Filimonov M.V., 2014 (In Russ).

Article history:

Received: 28.11.2017

Revised: 20.12.2017

For citation:

Vlasov D.V. (2017) Metals and metalloids in PM10 Fraction of the road dust of Eastern Moscow. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*, 25 (4), 529—539. DOI: 10.22363/2313-2310-2017-25-4-529-539

Bio Note:

Vlasov Dmitrij Valentinovich — candidate of geographical science, research assistant, Department of Landscape Geochemistry and Soil Geography, Faculty of Geography, Lomonosov Moscow State University. E-mail: vlasgeo@yandex.ru