

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ДОРОЖНОЙ ПЫЛИ МОСКВЫ

**Н.Е. Кошелева, К.С. Набелкина, А.В. Рыжов, Д.В. Власов,
Н.С. Касимов**

Географический факультет МГУ имени М.В.Ломоносова, Москва, Россия
E-mail: natalk@mail.ru, aksenia92@yandex.ru

Аннотация. Дорожная пыль – многокомпонентная среда, образующаяся из частиц аэрозоля, придорожных почв, остатков противогололедных смесей и при износе объектов транспортной инфраструктуры и автотранспорта. Проанализированы pH, удельная электропроводность и содержание органического углерода в дорожной пыли Москвы – по этим параметрам она не отличается от других городов. Основу пыли составляют супесчаная и легкосуглинистая фракции. Значение pH дорожной пыли определяется крупностью дорог: с их ростом pH увеличивается до 7,5 из-за истирания дорожного полотна и противогололедных реагентов. Среднее содержание органического углерода в пыли Москвы 2,6%, минимум наблюдается на главных дорогах. Физико-химические свойства пыли на дорогах и в парках заметно отличаются, обуславливая повышенную аккумуляцию загрязнителей в транспортной зоне.

Ключевые слова: дорожная пыль, гранулометрический состав, pH, удельная электропроводность, содержание органического углерода

PHYSICO-CHEMICAL PROPERTIES OF ROAD DUST IN MOSCOW

N.E. Kosheleva, K.S. Nabelkina, A.V. Ryzhov, D.V. Vlasov, N.S. Kasimov

Faculty of Geography, Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia
E-mail: natalk@mail.ru, aksenia92@yandex.ru

Summary. Road dust is a multicomponent medium formed from particles of aerosol, roadside soils, residues of de-icing salts, and by the wear of transport infrastructure and vehicles. The pH, specific electric conductivity and organic carbon content in Moscow road dust have been analyzed. According to these parameters, it does not differ from other cities. The dust consists mainly of sandy loamy and light loamy fractions. The pH value of the road dust is determined by the size of the roads: with their growth, the pH increases to 7.5 due to the abrasion of the roadbed and the de-icing reagents. The average content of organic carbon in Moscow dust is 2.6%, the minimum is observed on the main roads. The physicochemical properties of dust on roads and in parks differ markedly, leading to increased accumulation of pollutants in the traffic zone.

Key words: road dust, grain-size composition, pH, electrical conductivity, organic carbon content

Введение

В крупных городах дорожная пыль часто выступает в качестве объекта экогеохимического мониторинга. Дорожная пыль – многокомпонентная среда, образующаяся из частиц аэрозоля, придорожных почв, при износе объектов транспортных средств инфраструктуры, измельчении му-

сора и остатков противогололедных смесей (Ладонин, Пляскина, 2009). Формируясь из многих источников, она отражает уровень загрязнения городских ландшафтов – ее частицы являются фазой-носителем многих поллютантов, особенно тяжелых металлов и металлоидов (ТММ). Особо изучаются частицы диаметром менее 10 мкм (PM10), являющиеся важнейшим индикатором качества атмосферного воздуха города: на эту фракцию приходится до 40-60% содержания многих ТММ (Власов и др., 2015).

Актуальность изучения физико-химических свойств дорожной пыли определяется также тем, что пыль, попадая на поверхность городских почв, может формировать или увеличивать емкость сформированных ранее геохимических барьеров (Кошелева и др., 2015). В Москве, крупнейшем мегаполисе России и Европы, исследования свойств дорожной пыли проводились лишь в отдельных округах (Ладонин, Пляскина, 2009; Прокофьева и др., 2015; Власов и др., 2015).

Цель данной работы – установить основные физико-химические свойства дорожной пыли Москвы. Решались следующие задачи:

- провести опробование дорожной пыли на дорогах с разной интенсивностью движения в разных административных округах города;
- определить основные физико-химические параметры пыли: pH, электропроводность (ЕС), содержание органического углерода (C_{org}) и гранулометрический состав;
- выявить пространственные закономерности их изменения по территории города.

Источники дорожной пыли. Основную массу пыли в столице составляет автотранспорт: 95% от общего объема выбросов, или 880-930 тыс. т/год. Выбросы взвешенных частиц составляют около 1%, еще от 2,5 до более 5 тыс. т/год поступает за счет истирания дорожного покрытия, разметки, шин и тормозных колодок автомобилей. Протяженность дорог Москвы – 3600 км, или 8% площади. В начале 2017 г. автопарк столицы насчитывал около 4,6 млн ед., из которых 90,4% приходилось на легковые, 8,5% – грузовые автомобили, 1,1% – автобусы (Под ред. А.О.Кульбачевского, 2016).

В формировании дорожной пыли участвуют стационарные промышленные источники и объекты городского строительства. Объем атмосферных выбросов от стационарных источников – 60-70 тыс. т, доля твердых веществ – около 3%. 50-65% всех выбросов приходится на 13 ТЭЦ Москвы, 20-30% – на нефтеперерабатывающий завод (Битюкова, Саульская, 2017). Запыленность дорог увеличивается также из-за дефляции городских почв и применения противогололедных реагентов (ПГР). Общая разрешенная солевая нагрузка доходит до 420–500 тыс. т за зимний сезон в пересчете на сухое вещество.

Методы исследования. Опробование пыли дорог с разной интенсивностью движения проводилось в июне-июле 2017 г. на территории Москвы в пределах МКАД. Дополнительно отбирались пробы во дворах и на пеше-

ходных дорожках в крупнейших московских лесопарках. Всего на автодорогах собрано 173 пробы пыли, во дворах – 36, в лесопарках – 5. В соответствии с шириной дорожного полотна и количеством полос (ГОСТ Р 52398-2005) выделены несколько типов автодорог: МКАД (20 проб), Третье транспортное кольцо (ТТК, 10), главные радиальные дороги (более 4 полос движения в одну сторону, 19); крупные дороги с 3-4 полосами (47), средние с 2 полосами (44) и малые с 1 полосой (34). Пробы дорожной пыли отбирались вдоль бордюра с обеих сторон дороги с помощью пластикового совка и щетки в 3-5 повторностях в 3-10 м друг от друга.

Таблица 1. Физико-химические свойства дорожной пыли Москвы

Дороги (число проб)	PM10		pH		ЕС		C _{орг}	
	M (min– max), %	C _v , %	M (min– max)	C _v , %	M (min– max), мкгСм/см	C _v , %	M (min– max), %	C _v , %
парки (5)	13 (6,3–18,4)	37	7,1 (6,7–7,4)	3,2	70 (66–88)	17	4,1 (2,5–7,4)	42
МКАД (20)	17,7 (5,4–31,2)	36	7,3 (6,8–7,9)	3,1	256 (98–521)	41	2,7 (1,5–4,9)	33
ТТК (10)	17,7 (6,2–22,3)	25	7,4 (7,0–7,6)	2,4	277 (136–712)	57	2,8 (0,85–3,6)	29
главные (19)	14,7 (4,1–29,1)	63	7,5 (7,1–8,0)	3,5	256 (118–537)	45	2,0 (1,0–4,0)	36
крупные (47)	16,4 (5,7–33,5)	44	7,4 (6,9–8,0)	3,9	257 (88–523)	49	2,1 (0,17–4,8)	41
средние (44)	13,2 (3,2–26,8)	52	7,4 (6,8–8,1)	3,7	174 (33–450)	55	2,3 (0,87–4,6)	38
малые (34)	13,6 (4–38,6)	52	7,4 (6,4–8,1)	4,2	193 (47–525)	58	2,4 (0,91–4,8)	36
дворы (36)	14,3 (5,2–28,4)	45	7,2 (6,6–8,1)	3,7	162 (63–483)	50	4,1 (1,1–6,7)	32
дороги в целом (210)	14,9 (3,2–38,6)	48	7,4 (6,4–8,1)	3,9	211 (33–712)	56	2,6 (0,17–6,7)	44

Проведено определение pH водной вытяжки потенциометрическим, удельная электропроводность (ЕС) – кондуктометрическим, содержание C_{орг} – методом Тюрина с титриметрическим окончанием, гранулометрический состав – лазерной гранулометрией. Полученные данные проанализированы методами математической статистики в программных пакетах Statistica® 10 и MS-Excel®. Для каждого типа дороги вычислялись средние (M), их ошибки, средние квадратичные отклонения σ , коэффициенты вариации ($C_v = \sigma/M$), максимальные и минимальные значения (min–max). Взаимосвязь физико-химических свойств дорожной пыли и влияние антропогенных факторов оценивались с помощью метода регрессионных деревьев в программном пакете S-Plus®.

Результаты и их обсуждение. Физико-химические свойства дорожной пыли (табл.1) в Москве укладываются в диапазон значений, установленный в других городах мира, где pH варьирует в пределах 7–9, содержание C_{орг} – 1-17%, ЕС – 100-2800 мкгСм/см (Al-Khashman, 2007; Ладонин, Пляскина, 2009; Acosta et al., 2011; Sutherland et al., 2012).

Для дорожной пыли парков характерны наименьшие значения pH и ЕС и повышенные C_{орг}. Здесь не применяются ПГР, отсутствует загрязнение от износа транспортных средств, а растительность задерживает атмо-

сферные выпадения. В пыли парков преобладают частицы крупной фракции диаметром 250-1000 мкм (>50%); морфологически выделяются размельченный растительный опад (источник $C_{орг}$) и почвенные частицы сохранившихся в парках дерново-подзолистых почв со слабокислой реакцией среды.

Основу дорожной пыли Москвы составляют супесчаная и легкосуглинистая фракции, различия в гранулометрическом составе пыли между дорогами выражены слабо. Содержание фракции PM10 повышено в точках, равномерно расположенных на спрямленных участках крупных и главных радиальных дорог в локальных понижениях рельефа на некотором удалении от ТТК и центра Москвы. Вероятно, они приурочены к местам ежедневного увеличенного простоя автомобилей (например, на Ленинградском и Ярославском шоссе, одних из самых загруженных магистралей Москвы), где эмиссия выхлопных газов максимальна.

Как показал регрессионный анализ, важнейшим фактором, контролирующим значение рН дорожной пыли, является крупность дорог и интенсивность движения: с их ростом рН увеличивается. Значения во дворах наименьшие (рН 7,2), на главных дорогах – наибольшие (7,5). На крупных дорогах происходит усиленное истирание дорожного полотна и вносится больший объем ПГР. При пониженном содержании фракции PM10 значения рН в среднем выше, что может объясняться попаданием в пробу нерастворенных кристаллов хлоридов Na и Ca из ПГР.

Эти же легкорастворимые соли являются причиной высокой электропроводности дорожной пыли. При избыточной дозе ПГР часть реагентов остается в твердом виде на дорожном полотне, увеличивая рН и ЕС. В среднем ЕС городской пыли в 3 раза выше значений в парках. Также как и рН, ЕС напрямую зависит от крупности дороги. Вытянутая с северо-запада на юго-восток города полоса повышенных значений ЕС охватывает территорию наибольшей плотности дорожно-транспортной сети и промышленных объектов, где ПГР используются регулярно.

Органический углерод связан с частицами почвы, формирующими значительную массу пыли, а также с износом асфальтового покрытия, выбросами промышленности и автотранспорта. Если в рекреационной и жилой зонах органическое вещество состоит из природных фракций гумуса, то в транспортной зоне преобладают органические соединения техногенного происхождения (Faure et al., 2000). Последние поступают в виде тонких фракций, на что указывает прямая зависимость между $C_{орг}$ и долей PM10 в дорожной пыли. Среднее содержание $C_{орг}$ в пыли Москвы – 2,6%, минимум $C_{орг}$ 2% наблюдается на главных и крупных дорогах. Повышенные содержания $C_{орг}$ приурочены к парковым зонам и пустырям вблизи промзон, а максимальные (4%) – ко дворам, приближаясь к фоновому уровню (4,14%), что объясняется выдуванием и выносом на колесах автомобилей частиц с поверхности слабо задернованных почв.

Сравнение фоновыми показателями основных физико-химических свойств дорожной пыли на территории Москвы показало их значительную техногенную трансформацию, наиболее выраженную на участках крупных шоссе, расположенных рядом с промзонами и автобусными парками. Повышение рН, содержания $C_{орг}$ и доли частиц PM_{10} в дорожной пыли приводит к формированию техногенных щелочного, органо-минерального и сорбционно-седиментационного геохимических барьеров, емкость которых увеличивается с ростом перечисленных показателей, что способствует аккумуляции токсичных ТММ (Кошелева и др., 2015). Полученные результаты позволяют в дальнейшем определить емкость геохимических барьеров и таким образом оценить экологическую опасность накопления поллютантов дорожной пылью.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Всероссийской общественной организации «Русское географическое общество» (РГО, договор №04/2017-И).

Список цитируемой литературы

1. Битюкова В.Р., Саульская Т.Д. Изменение антропогенного воздействия производственных зон Москвы в постсоветский период // Вестник Моск. ун-та. Сер. 5, геогр. 2017. № 3. С. 34-41.
2. Власов Д.В., Касимов Н.С., Кошелева Н.Е. Геохимия дорожной пыли (Восточный округ Москвы) // Вестник Моск. ун-та. Сер. 5, геогр. 2015. №1. С.23-33.
3. Доклад о состоянии окружающей среды в городе Москве в 2016 году / Под ред. А.О.Кульбачевского. М.: ДПиООС; НИиПИ ИГСП. 2017. 363 с.
4. Кошелева Н.Е., Касимов Н.С., Власов Д.В. Факторы накопления тяжелых металлов и металлоидов на геохимических барьерах в городских почвах // Почвоведение. 2015. № 5. С. 536-553.
5. Ладонин Д.В., Пляскина О.В. Изотопный состав свинца в почвах и уличной пыли Юго-восточного административного округа г. Москва // Почвоведение. 2009. № 1. С. 106-118.
6. Прокофьева Т.В., Шишков В.А., Кирюшин А.В., Калущин И.Ю. Свойства твердых (пылеаэрозольных) выпадений придорожных территорий г. Москвы // Известия РАН. Сер. геогр. 2015. № 3. С. 107-120.
7. Acosta J.A., Faz A., Kalbitz K., Jansen B., Martinez-Martinez S. Heavy metal concentrations in particle size fractions from street dust of Murcia (Spain) as the basis for risk assessment // J. Environ. Monit. 2011. V. 13. P. 3087-3096.
8. Al-Khashman O.A. Determination of metal accumulation in deposited street dusts in Amman, Jordan // Environ. Geochem. and Health. 2007. V. 29. P.1-10.
9. Faure P., Landais P., Schlepp L., Michels R. Evidence for Diffuse Contamination of River Sediments by Road Asphalt Particles// Environ. Sci. Technol. 2000. V. 34. P. 1174-1181.

10. Sutherland R.A., Tack F.M.G., Ziegler A.D. Road-deposited sediments in an urban environment: A first look at sequentially extracted element loads in grain size fractions // J. of Hazardous Materials. 2012. V. 225-226. P.54-62.