

ВЕРТИКАЛЬНОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ЗАПЫЛЕННОСТИ ПРИЗЕМНОГО СЛОЯ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА г. ЕКАТЕРИНБУРГА

И. Е. Субботина¹, М. С. Ремезова², А. Г. Бувич¹, А. П. Сергеев¹,
Е. М. Баглаева¹, А. В. Шичкин¹, А. С. Буторова¹, М. В. Сергеева¹

¹ Институт промышленной экологии УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия

² Уральский Федеральный университет им. первого Президента России

Б. Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия

Загрязнение твердыми частицами приземного слоя атмосферы урбанизированных территорий представляет собой опасность для здоровья населения. Информация о качестве воздуха является основой для принятия нормативно-правовых решений по сохранению здоровья. Было исследовано вертикальное распределение концентрации пылевых частиц, их элементного и дисперсного состава в приземном слое атмосферного воздуха г. Екатеринбурга на высоте от 0,5 до 10 м в течение 8 дней в апреле 2021 г. Массовая концентрация пыли представлена неоднородными данными с коэффициентом вариации больше 30 %, имеет слабую тенденцию уменьшаться с высотой. В количественном соотношении пылинки размером меньше РМ 2,5 составляют около 45 % общего количества частиц. Рентгенофлуоресцентным анализом было обнаружено 12 элементов, содержащихся в пылевых частицах, наиболее значительное содержание – серы, кальция и железа. Доля большинства металлов и кальция в твердых частицах уменьшается с высотой, содержание серы и мышьяка увеличивается. Содержание в частицах пыли меди, цинка и сурьмы постоянно на всех измеренных высотах.

Ключевые слова: твердые частицы; вертикальное распределение; запыленность; дисперсный состав; мобильный пост.

1. Введение

Для оценки состояния атмосферного воздуха и его влияния на здоровье населения урбанизированных территорий необходима информация о содержании в атмосфере различных примесей и их пространственном распределении [1–10].

Наблюдения за состоянием атмосферы городов осуществляют территориальные подразделения Росгидромета и предприятия, загрязняющие атмосферный воздух селитебных территорий. Кроме регулярных наблюдений, в некоторых городах дополнительно проводятся эпизодические обследования и наблюдения. Пространственное размещение пунктов наблюдений определяется целевыми задачами, связанными с получением данных о характеристиках загрязнения наблюдаемых объектов на глобальном, региональном, территориальном и локальном уровнях [11–14].

Источники пыли в атмосфере могут иметь как природное, так и антропогенное происхождение и быть локализованы на разных территориях [15–17]. На долю частиц пыли, образовавшихся на поверхности почвы, приходится около 75 % глобальной аэрозольной нагрузки в атмосфере [18]. Химический состав атмосферной пыли включает соединения кремния, бериллия, алюминия, кадмия и других металлов, угольные частицы и сажевый аэрозоль, споры микроорганизмов и пыльцу растений, другие частицы органического происхождения. Также в результате химических реакций в атмосфере образуются вторичные неорганические соединения (нитраты, сульфаты, аммоний) [19, 20]. Для понимания механизмов образования частиц, формирования дымки и климатических воздействий важно знать особенности распределения числа пылинок по размерам. Однако такие наблюдения в мегаполисах очень ограничены. Исследования показывают, что различия в концентрациях частиц на уровне земли и на высотах порядка десятков метров значительно варьируются в зависимости от размера частиц [21–23].

При разработке моделей вертикальной структуры атмосферного аэрозоля необходимо принимать во внимание влияние подстилающей поверхности на генерацию и сток атмосферного аэрозоля, характер турбулентного вертикального массообмена, циркуляцию атмосферы, тип воздушной массы, химический состав фонового аэрозоля. Приземный слой атмосферной дымки высотой до 70 м включает пограничную зону, в которой наблюдаются значительные суточные вариации плотности аэрозоля [24]. Многообразие реализуемых в атмосфере и на поверхности земли условий приводит к перераспределению роли различных механизмов в генерации и трансформации поля атмосферного аэрозоля в зависимости от географических факторов и погодных условий. Модели распределения атмосферного аэрозоля строят с учетом географического фактора, метеоусловий, типа подстилающей поверхности, которая является как источником, так и стоком аэрозольных образований [22, 23].

Современные исследования дисперсного состава атмосферы в большинстве случаев проводят при помощи различного типа датчиков. Несмотря на высокий уровень развития вычислительной техники и измерительного оборудования, точность и воспроизводимость массовых и количественных концентраций, сообщаемых различными моделями, сильно различаются. Так, в [25, 26] показано, что данные о подсчете частиц ненадежны. Распределение числа и размера пылевых частиц, полученных на разных датчиках, не согласуются друг с другом. Таким образом, актуальными остаются измерения, основанные на прямом подсчете количества осевших на фильтрах частиц.

Институтом промышленной экологии УрО РАН создан и запатентован мобильный пост отбора проб пыли [27]. Пост состоит из насоса, питаемого аккумулятором, ряда газовых счетчиков, показывающих объем прокачанного воздуха, труб с фильтродержателями (аллонжами), ориентированными в разных направлениях. В 2016 г. с использованием мобильного поста была проведена серия измерений концентрации взвешенных частиц в приземном слое атмосферы г. Екатеринбурга на разных высотах. Была обнаружена особенность распределения концентрации по высоте – на 1 м было зафиксировано минимальное значение по сравнению со значениями концентраций на других высотах – от 0,5 до 2 м [1].

Цель настоящей работы – изучение особенностей вертикального распределения концентрации пыли, определение ее дисперсного и химического состава в приземном слое атмосферного воздуха г. Екатеринбурга.

2. Материалы и методы

Для исследования особенности распределения концентрации пыли на высоте 1 м, заключающейся в низком содержании пылевых частиц, мобильный пост был модифицирован: увеличили количество фильтров, на которые проводится пробоотбор, до 8, причем 5 фильтров приходятся на интервал высот 0,5–1,5 м, что позволяет исследовать распределение концентрации пыли с высокой подробностью. Фильтры располагаются на высоте 0,5; 0,75; 1; 1,25; 1,5; 2; 4 и 10 м.

Пункт наблюдений за загрязнением атмосферного воздуха размещался на открытой, проветриваемой со всех сторон площадке, с непылящим покрытием: на асфальте, твердом грунте, газоне, чтобы минимизировать искажения результатов измерений зелеными насаждениями, зданиями и другими препятствиями ветровому потоку.

Измерения запыленности атмосферного воздуха г. Екатеринбурга проводились 8 световых дней, с 9 до 20 апреля 2021 г. Пик загрязнения атмосферного воздуха обычно приходится на весенние месяцы – с начала апреля до середины мая, пока деревья не покроются листвой и газоны не зарастут травой [12].

Перед проведением эксперимента через последовательно соединенные счетчики прокачивалось 10 м^3 воздуха по показаниям первого в ряду счетчика. Проверка показаний остальных счетчиков показала разницу в пределах 0,7 %, поэтому поправочные коэффициенты для расчета показателей загрязненности воздуха не вводились.

Предварительно измерялись масса и химический состав каждого чистого фильтра, определенные как среднее арифметическое по измерениям на трех разных участках фильтра. Мобильный пост работал около 9 ч в день, прокачивая в среднем 30 м^3 воздуха. После этого фильтры взвешивали, определяли массу осевшей пыли как разницу между массами фильтра до и после прокачивания воздуха. Каждый день в месте проведения измерений фиксировались основные метеоданные (температура, атмосферное давление, относительная влажность, скорость и направление ветра).

На металлографическом микроскопе XJP-H100 (Wuzhou New Found Instrument Co., Ltd) делался снимок каждого фильтра с пылью, полученные фотографии (рис. 1) обрабатывались для удобства анализа. Для определения дисперсного состава подсчитанные в пяти полях зрения на каждом фильтре пылинки распределялись по 11 интервалам размеров: менее 1 мкм, 1–2, 2–3, 3–4, 4–5, 5–6, 6–7, 7–8, 8–9, 9–10 мкм и больше 10 мкм.

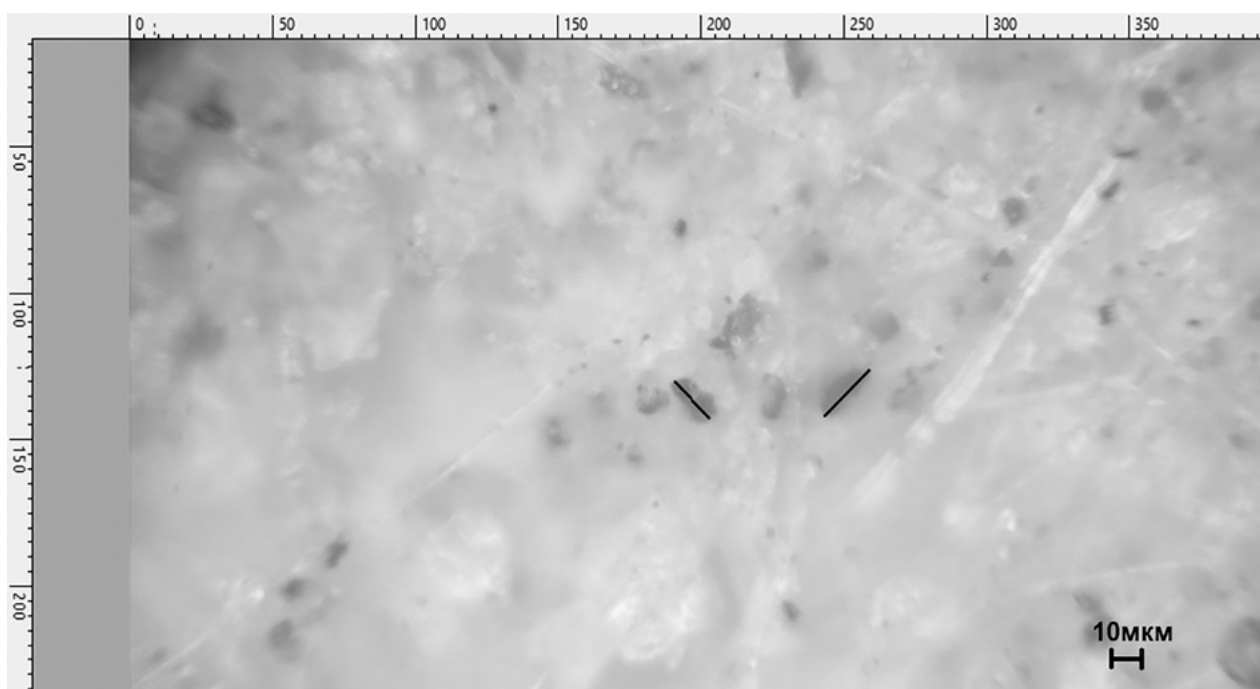


Рис. 1. Фильтр с осажденной пылью

Качественный элементный состав фильтра с осевшей на нем пылью определялся рентгенофлуоресцентным спектрометром INNOV X Systems X-5000. Технические характеристики: рентгеновская трубка с напряжением 50 кВ, током до 200 мА, разрешением 165 эВ, мощностью 10 Вт.

3. Результаты

Усредненные за 8 дней измерений рассчитанные концентрации пыли приведены в табл. 1. На высоте ≤ 2 м от поверхности земли запыленность выше, чем на высоте ≥ 4 м, однако в пределах 2 м никаких значимых различий в значениях концентрации пыли не обнаружено. Для оценки однородности данных определены коэффициенты вариации.

Таблица 1. Значение концентрации пыли в атмосфере г. Екатеринбурга

Высота, м	Средняя концентрация пыли, мг/м ³	Среднее квадратическое отклонение, мг/м ³	Коэффициент вариации
0,5	0,155	0,052	0,34
0,75	0,163	0,058	0,36
1	0,170	0,053	0,31
1,25	0,162	0,049	0,31
1,5	0,168	0,058	0,35
2	0,167	0,054	0,32
4	0,084	0,029	0,35
10	0,115	0,043	0,37

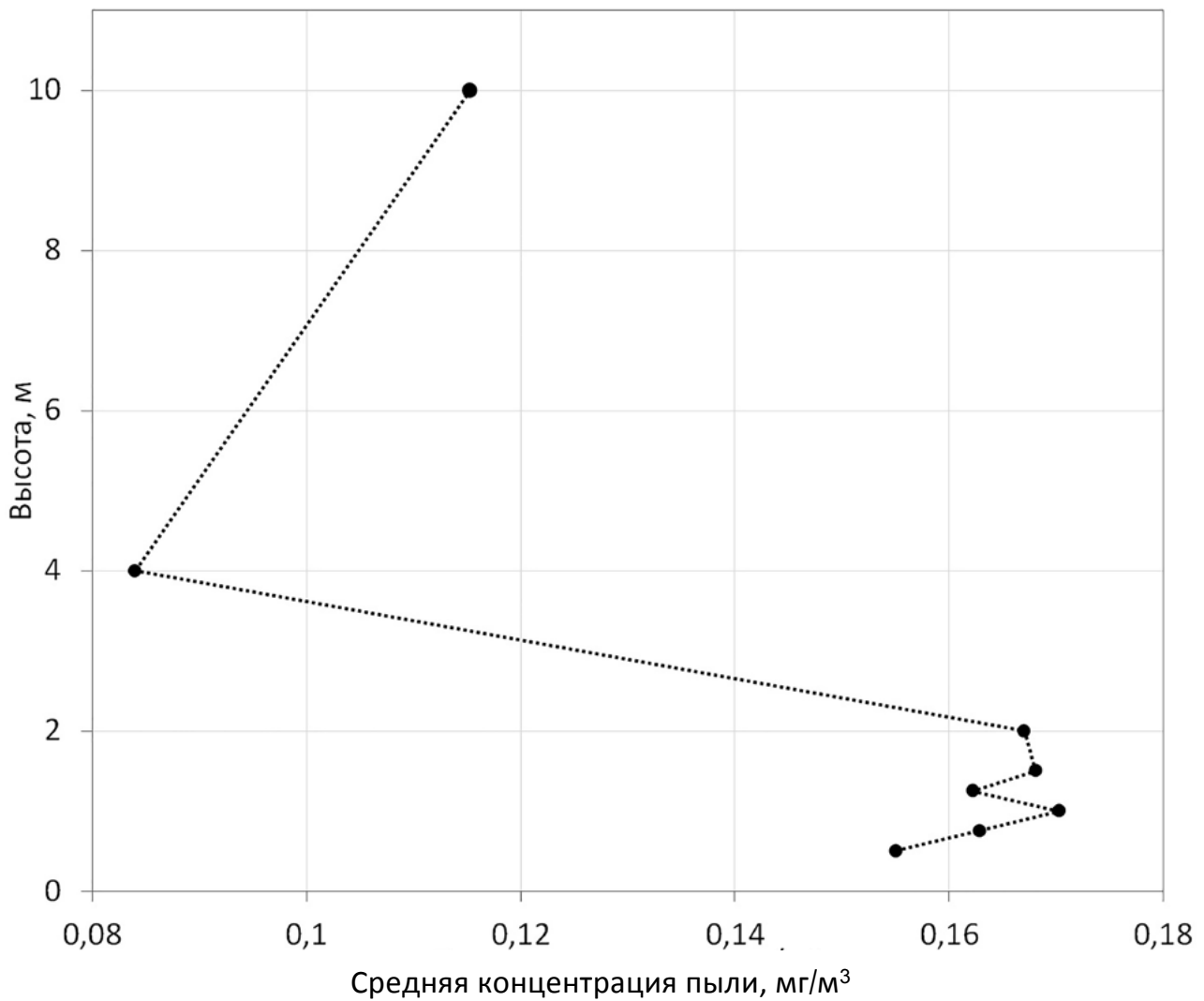


Рис. 2. Зависимость содержания пыли в атмосферном воздухе от высоты (приведена усредненная концентрация пыли за все дни измерений)

Полученные на металлографическом микроскопе фотографии обработаны, осевшие пылинки распределены по интервалам от 0 до 10 мкм с шагом 1 мкм, в последнем интервале учтены все пылинки размером больше 10 мкм. Определен дисперсный состав, который однороден для всех фильтров. На рис. 2 приведено распределение по размерам осажденных на фильтре частиц пыли для каждой высоты пробоотбора, усредненное за 8 дней. Доля мелких частиц (< 1 мкм) уменьшается с увеличением высоты, исключение составляют 10 м, где их доля выросла (рис. 3). Частиц размером от 1 до 2 мкм, наоборот, тем меньше, чем ближе к поверхности земли. Пылинки остальных размеров распределены по высоте равномерно.

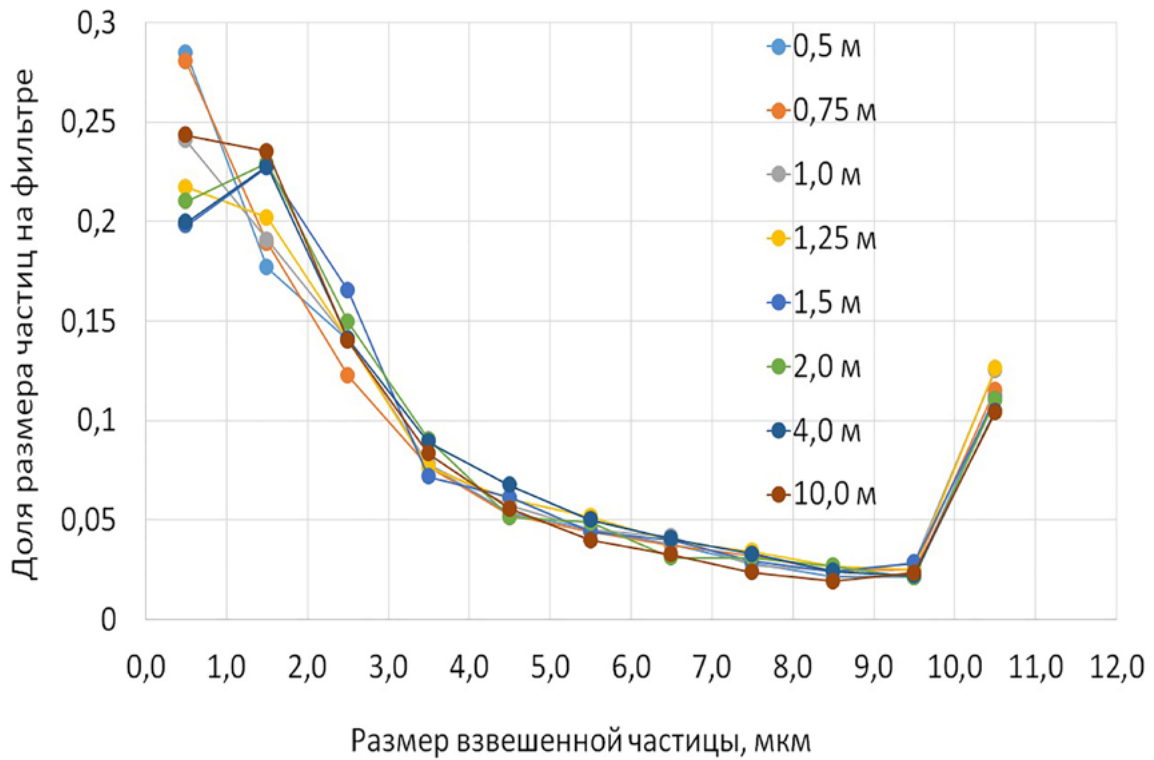


Рис. 3. Дисперсный состав пыли, осажденной на фильтре

К химическому составу пыли относили элементы, обнаруженные на прокаченном «грязном» фильтре впервые, или увеличившие свою долю по сравнению с чистым фильтром.

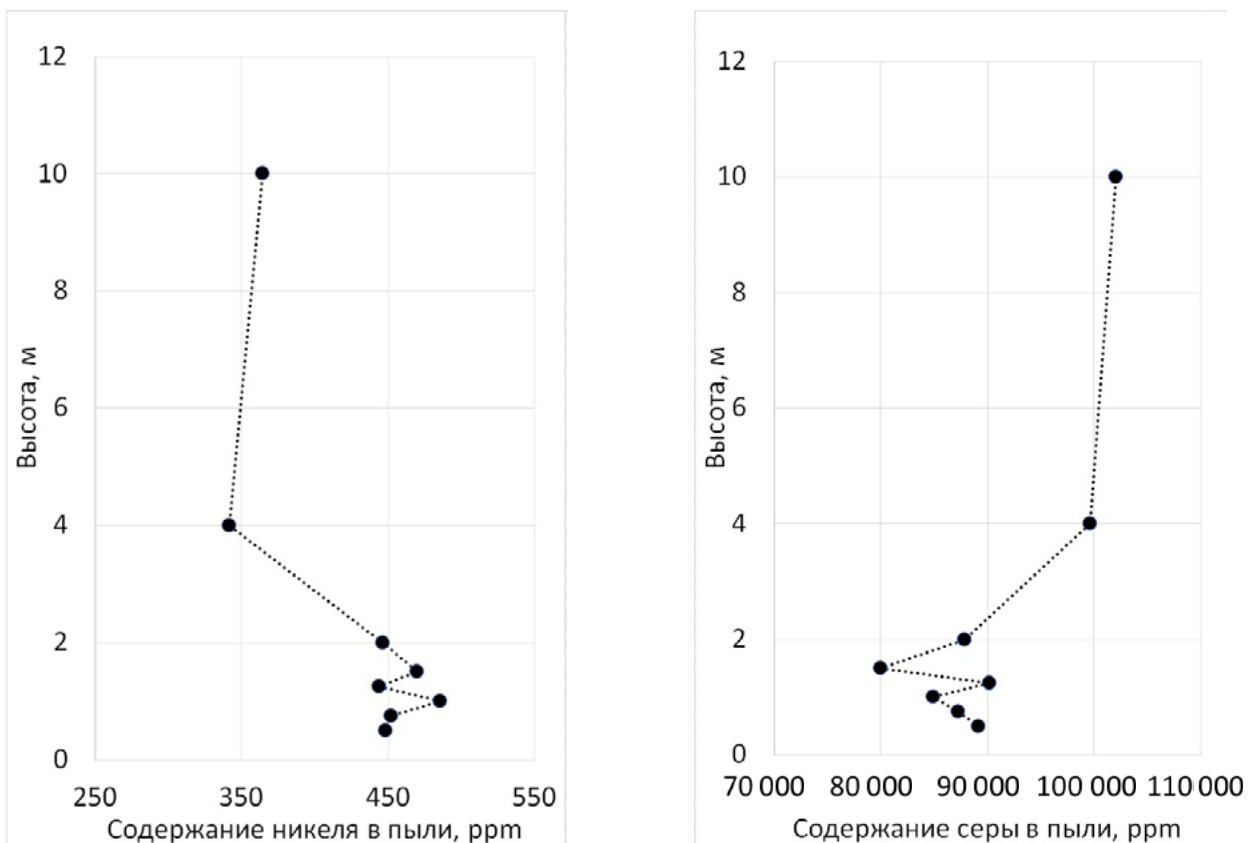


Рис. 4. Зависимость содержания химических элементов в пыли от высоты

При анализе на рентгенофлуоресцентном спектрометре были выявлены следующие элементы осевшей пыли: S (90 150 ppm), Ca (10 6140 ppm), K (2 3220 ppm), Ti (4 190 ppm), Cr (417 ppm), Mn (737 ppm), Ni (430 ppm), Cu (380 ppm), Zn (353 ppm), Sb (700 ppm), As (56 ppm), а также большое содержание Fe (83 313 ppm) (в скобках приведены усредненные по всем фильтрам значения содержания элементов). На рис. 4 приведена зависимость содержания никеля и серы в пыли от высоты.

4. Обсуждение

В отличие от предыдущего исследования [1], минимальная концентрация пыли, усредненная за 8 дней измерений для исследуемой зоны дыхания человека (0,5–2 м), оказалась на высоте 0,5 м. Однако в отдельные дни измерений минимум приходился на высоты 0,75; 1,0; 1,25 м. Такие результаты могут быть связаны с особенностями воздушных потоков в приземном слое атмосферы (измерения проводились в сравнительно теплую, солнечную, безветренную погоду). Для полученных данных не было выявлено статистически значимой связи с основными метеорологическими условиями (температура, атмосферное давление, относительная влажность, скорость и направление ветра). В дни измерений был штиль (5 из 8 дней) или слабый ветер, не более 2–3 м/с. Вероятным неучтенным параметром является вертикальная составляющая скорости и силы ветра. Так, например, некоторое увеличение концентрации пыли на высоте 10 м (по сравнению с данными на 4 м) может быть связано с особенностями расположения фильтра. В отличие от других, он располагался в 3 м от крыши, на краю здания, что могло оказать влияние на распределение пыли в этой зоне.

Полученные значения коэффициентов вариации для приземной концентрации пыли, превышающие 0,3, указывают на сильные отклонения измеренных значений концентраций от среднего арифметического, что является показателем неоднородности данных. Этот результат согласуется с информацией о значительных наблюдаемых суточных изменениях запыленности в приземном слое атмосферной дымки высотой до 70 м [26].

Предельно допустимая концентрация для взвешенных частиц в атмосфере населенных мест по гигиеническим нормам ГН 2.1.6 1338-03 равна 0,5 мг/м³ воздуха. Дополнением № 8 к ГН добавлено, что ПДК для пыли, состоящей из частиц диаметром менее 10 микрон, равна 0,3 мг/м³. Для пыли с частицами 2,5 мкм и менее – 0,16 мг/м³. В данном исследовании средняя концентрация пыли не превысила 0,17 мг/м³.

Отметим схожесть распределений доли элементов от высоты у металлов. Доля большинства металлов и кальция в твердых частицах уменьшается с высотой, вид распределения аналогичен рис. 4 (справа). Содержание серы и мышьяка на высоте 4 и 10 м выше, чем на высотах, не превышающих 2 м (рис. 4 (слева)). Содержание в частицах пыли меди, цинка и сурьмы постоянно на всех измеренных высотах.

5. Выводы

1. Выявлены неоднородности в распределении концентрации пыли в зоне дыхания человека. Минимальное значение концентрации пыли в исследуемой зоне (0,155 мг/м³) было зафиксировано на высоте 0,5 м. Полученные значения концентраций пыли не превышают гигиенических норм (ГН 2.1.6 1338-03). Для понимания особенностей вертикального распределения пыли целесо-

образно использовать прибор для контроля вертикальной силы и скорости ветра.

2. Определены основные химические элементы, входящие в состав пыли в зоне дыхания человека: S (90 150 ppm), Ca (106 140 ppm), K (23 220 ppm), Ti (4 190 ppm), Cr (417 ppm), Mn (737 ppm), Ni (430 ppm), Cu (380 ppm), Zn (353 ppm), Sb (700 ppm), As (56 ppm) и Fe (83 313 ppm).
3. Определен дисперсный состав пыли в зоне дыхания человека. Наибольшая доля (от 0,2 до 0,27) приходится на частицы размером от 1 до 2 мкм. Доля частиц PM_{2,5} составляет примерно 0,45.
4. Мобильный пост может быть использован в системе городского экологического мониторинга для выявления на локальных территориях уровня пылевого загрязнения атмосферного воздуха, в том числе в зоне дыхания человека.

6. Список литературы

1. *Baglaeva, E. M.* Particulate matter size distribution in air surface layer of Middle Ural and Arctic territories / E. M. Baglaeva, A. P. Sergeev, A. G. Buevich [et al.] // *Atmospheric Pollution Research*. – 2019. – № 4. – P. 1220–1226.
2. *Cachon, B. F.* Proinflammatory effects and oxidative stress within human bronchial epithelial cells exposed to atmospheric particulate matter (PM_{2.5} and PM > 2.5) collected from Cotonou, Benin / B. F. Cachon, S. Firmin, A. Verdin [et al.] // *Environmental Pollution*. – 2014. – Vol. 185. – P. 340–351. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2013.10.026>.
3. *Hornberg, C.* Induction of sister chromatid exchanges (SCE) in human tracheal epithelial cells by the fractions PM-10 and PM-2.5 of airborne particulates / C. Hornberg, L. Maciuleviciute, N. H. Seemayer [et al.] // *Toxicology Letters*. – 1998. – Vol. 96–97. – P. 215–220. [https://doi.org/10.1016/S0378-4274\(98\)00075-7](https://doi.org/10.1016/S0378-4274(98)00075-7).
4. *Jia, Q.* Lung microbiome and transcriptome reveal mechanisms underlying PM_{2.5} induced pulmonary fibrosis / Q. Jia, Q. Li, Y. Wang [et al.] // *Science of The Total Environment*. – 2022. – Vol. 831. – 154974. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.154974>.
5. *Laiman, V.* Contributions of acidic ions in secondary aerosol to PM_{2.5} bioreactivity in an urban area / V. Laiman, Ta-Ch. Hsiao, Yu-H. Wang // *Atmospheric Environment*. 2022. – Vol. 275. – 119001. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2022.119001>.
6. *Lim, S. S.* A comparative risk assessment of burden of disease and injury attributable to 67 risk factors and risk factor clusters in 21 regions, 1990–2010: a systematic analysis for the global burden of disease study 2010 / S. S. Lim, T. Vos, A. D. Flaxman [et al.] // *Lancet*. – 2012. – Vol. 380 (9859). P. 2224–2260. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(12\)61766-8](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(12)61766-8).
7. *Selokar, A.* PM_{2,5} particulate matter and its effects in Delhi/NCR / A. Selokar, B. Ramachandran, K. N. Elangovan [et al.] // *Materials Today: Proceedings*. – 2020. – Vol. 33(7). – P. 4566–4572. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.08.187>.
8. *Wu, H.* Short-term effects of exposure to ambient PM₁, PM_{2.5}, and PM₁₀ on ischemic and hemorrhagic stroke incidence in Shandong Province, China / H. Wu, B. Zhang, J. Wei [et al.] // *Environmental Research*. – 2022. – Vol. 212. – Part C. – 113350. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2022.113350>.
9. *Xu, C.* Overlooked Significant Impact of Trace Metals on the Bacterial Community of PM_{2.5} in High-Time Resolution / C. Xu, H. Chen, C. Zhu [et al.] // *J. of Geophysical Research: Atmospheres*. 2021. – Vol. 126 (23). – e2021JD035408. <https://doi.org/10.1029/2021JD035408>.

10. Yang, M. Fine and ultrafine airborne PM influence inflammation response of young adults and toxicological responses in vitro / M. Yang, P. Jalava, H. Hakkarainen [et al.] // Science of The Total Environment. – 2022. – Vol. 836. – 155618. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.155618>.
11. Приказ Министерства природных ресурсов и экологии РФ от 30 июля 2020 г. N 524 «Об утверждении требований к проведению наблюдений за состоянием окружающей среды, ее загрязнением» (вступает в силу с 1 января 2021 г. и действует до 1 января 2027 г.).
12. Обзор состояния и загрязнения окружающей среды в Российской Федерации за 2019 год. Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды – Москва, 2020. <http://downloads.igce.ru/publications/reviews/review2019.pdf>.
13. РД 52. 04. 186-89. Руководящий документ. Руководство по контролю загрязнения атмосферы. Введ. 1991-07-01. – Москва, 1991. – 693 с. https://fcgie.ru/download/osnovnye_dokumenty_po_vedeniyu_sgm/186_89.pdf.
14. Ключев, Н. Н. Качество атмосферного воздуха российских городов в 1991–2016 гг. / Н. Н. Ключев // Известия Российской академии наук. Серия географическая. – 2019. – № 1. – С. 14–23. <https://doi.org/10.31857/S2587-55662019114-23>.
15. Brey, S. J. Estimating the Spread in Future Fine Dust Concentrations in the Southwest United States / S. J. Brey, J. R. Pierce, E. A. Barnes [et al.] // J. of Geophysical Research: Atmospheres. – 2020. – Vol. 125 (21). e2019JD031735. <https://doi.org/10.1029/2019JD031735>.
16. Lee, G. Roles of meteorological factors in inter-regional variations of fine and coarse PM concentrations over the Republic of Korea / G. Lee, Y. G. Lee, E. Jeong [et al.] // Atmospheric Environment. 2021. – Vol. 264. – 118706. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2021.118706>.
17. Maring, H. Mineral dust aerosol size distribution change during atmospheric transport / H. Maring, D. L. Savoie, M. A. Izaguirre [et al.] // J. of Geophysical Research. 2003. Vol. 108. No. D19. 8592. – doi:10.1029/2002JD002536.
18. Романовская, А. Ю. Аэрозольная пыль почвенного происхождения в атмосфере: источники, количество, свойства (обзор) / А. Ю. Романовская, И. Ю. Савин // Бюллетень Почвенного института имени В. В. Докучаева. – 2021. – Вып. 109. – С. 36–95. DOI: 10.19047/0136-1694-2021-109-36-95.
19. Заиков, Г. Е. Кислотные дожди и окружающая среда / Г. Е. Заиков, С. А. Маслов, В. П. Рубайло [и др]. – М. : Химия, 1991. – 139 с.
20. Исидоров, В. А. Экологическая химия: учеб. пособие для вузов / В. А. Исидоров. – СПб. : Химиздат, 2001. 301 с.
21. Du, W. Insights into vertical differences of particle number size distributions in winter in Beijing, China / W. Du, W. Wang, R. Liu [et al.] // Science of The Total Environment. – 2022. – Vol. 802. – 149695. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.149695>.
22. Liao, T. Seasonal distribution and vertical structure of different types of aerosols in southwest China observed from CALIOP / T. Liao, K. Gui, Y. Li [et al.] // Atmospheric Environment. – 2021. – Vol. 246. – 118145. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2020.118145>.
23. Dubey, R. Evaluation of vertical and horizontal distribution of particulate matter near an urban roadway using an unmanned aerial vehicle / R. Dubey, A. K. Patra, J. Joshi [et al.] // Science of The Total Environment. – 2022. – Vol. 836. – 155600. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.155600>.
24. Кондратьев, К. Я. Атмосферный аэрозоль / К. Я. Кондратьев, Н. И. Москаленко, Д. В. Поздняков. – Л. : Гидрометеоиздат, 1983. – 224 с.

25. *Dubey, R.* Evaluation of low-cost particulate matter sensors OPC N2 and PM Nova for aerosol monitoring / R. Dubey, A. K. Patra, J. Joshi [et al.] // Atmospheric Pollution Research. – 2022. – Vol. 13(3). 101335. <https://doi.org/10.1016/j.apr.2022.101335>.
26. *Tryner, J.* Effects of aerosol type and simulated aging on performance of low-cost PM sensors / J. Tryner, J. Mehaffy, D. Miller-Lionberg [et al.] // J. of Aerosol Science. – 2020. – Vol. 150. – 105654. <https://doi.org/10.1016/j.jaerosci.2020.105654>.
27. *Баглаева Е. М.* Мобильный пост отбора проб пыли приземного слоя атмосферного воздуха со стратификацией по высоте / Е. М. Баглаева, А. Г. Буевич, И. Е. Субботина [и др.] // ЭСИП. – 2017. – № 7. – С. 23–32.

Сведения об авторах:

Субботина Ирина Евгеньевна, канд. ф.-м. н., научный сотрудник Института промышленной экологии УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия. Эл. почта: iesub@mail.ru.

Ремезова Мария Сергеевна, студентка, ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б. Н. Ельцина», физико-технологический институт, г. Екатеринбург, Россия.

Буевич Александр Геннадьевич, научный сотрудник Института промышленной экологии УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия.

Сергеев Александр Петрович, канд. ф.-м. н., ведущий научный сотрудник Института промышленной экологии УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия.

Баглаева Елена Михайловна, канд. ф.-м. н., старший научный сотрудник Института промышленной экологии УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия.

Шичкин Андрей Васильевич, научный сотрудник Института промышленной экологии УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия.

Буторова Анастасия Сергеевна, инженер-исследователь Института промышленной экологии УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия.

Сергеева Марина Викторовна, научный сотрудник Института промышленной экологии УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия.

VERTICAL DISTRIBUTION OF DUST CHARACTERISTICS OF THE ATMOSPHERIC SURFACE LAYER IN EKATERINBURG

I. E. Subbotina ¹, M. S. Remezova ², A. G. Buevich ¹, A. P. Sergeev ¹, E. M. Baglaeva ¹,
A. V. Shichkin ¹, A. S. Butorova ¹, M. V. Sergeeva ¹

¹ Institute of Industrial Ecology UB RAS, Ekaterinburg, Russia

² Ural Federal University named after the first President of Russia B. N. Yeltsin,
Ekaterinburg, Russia

Pollution of the surface layer of the atmosphere with particulate matter in urban areas is a danger to public health. Air quality information is the basis for health policy making. The paper investigates the vertical distribution of the concentration of dust particles, their elemental and dispersion composition in the surface layer of atmospheric air in Yekaterinburg at a height of 0,5 m to 10 m during 8 days of April 2021. The mass concentration of dust is represented by heterogeneous data with a variation coefficient of more than 30 %, it has a weak tendency to decrease with height. In quantitative terms, dust particles PM_{2.5} make up about 45 % of the total number of particles. X-ray fluorescence analysis revealed 12 elements contained in dust particles, the most significant content being sulfur, calcium and ferrum. The proportion of the most metals and calcium in particulate matter decreases with height, while the content of sulfur and arsenicum increases. The content of cuprum, zincum and stibium in particulate matter is constant at all measured heights.

Key words: particulate matter, vertical distribution, dust content, dispersed composition, mobile post.

References

1. Baglaeva, E. M. Particulate matter size distribution in air surface layer of Middle Ural and Arctic territories / E. M. Baglaeva, A. P. Sergeev, A. G. Buevich [et al.] // Atmospheric Pollution Research. – 2019. – № 4. – P. 1220–1226.
2. Cachon, B. F. Proinflammatory effects and oxidative stress within human bronchial epithelial cells exposed to atmospheric particulate matter (PM_{2.5} and PM > 2.5) collected from Cotonou, Benin / B. F. Cachon, S. Firmin, A. Verdin [et al.] // Environmental Pollution. – 2014. – Vol. 185. – P. 340–351. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2013.10.026>.
3. Hornberg, C. Induction of sister chromatid exchanges (SCE) in human tracheal epithelial cells by the fractions PM-10 and PM-2.5 of airborne particulates / C. Hornberg, L. Maciuleviciute, N. H. Seemayer [et al.] // Toxicology Letters. – 1998. – Vol. 96–97. – P. 215–220. [https://doi.org/10.1016/S0378-4274\(98\)00075-7](https://doi.org/10.1016/S0378-4274(98)00075-7).
4. Jia, Q. Lung microbiome and transcriptome reveal mechanisms underlying PM_{2.5} induced pulmonary fibrosis / Q. Jia, Q. Li, Y. Wang [et al.] // Science of The Total Environment. – 2022. – Vol. 831. – 154974. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.154974>.

5. *Laiman, V.* Contributions of acidic ions in secondary aerosol to PM_{2.5} bioreactivity in an urban area / V. Laiman, Ta-Ch. Hsiao, Yu-H. Wang // *Atmospheric Environment*. 2022. – Vol. 275. – 119001. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2022.119001>.
6. *Lim, S. S.* A comparative risk assessment of burden of disease and injury attributable to 67 risk factors and risk factor clusters in 21 regions, 1990–2010: a systematic analysis for the global burden of disease study 2010 / S. S. Lim, T. Vos, A. D. Flaxman, et al // *Lancet*. – 2012. – Vol. 380 (9859). P. 2224–2260. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(12\)61766-8](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(12)61766-8).
7. *Selokar, A.* PM 2,5 particulate matter and its effects in Delhi/NCR / A. Selokar, B. Ramachandran, K. N. Elangovan [et al.] // *Materials Today: Proceedings*. – 2020. – Vol. 33(7). – P. 4566–4572. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.08.187>.
8. *Wu, H.* Short-term effects of exposure to ambient PM₁, PM_{2.5}, and PM₁₀ on ischemic and hemorrhagic stroke incidence in Shandong Province, China / H. Wu, B. Zhang, J. Wei [et al.] // *Environmental Research*. – 2022. – Vol. 212. – Part C. – 113350. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2022.113350>.
9. *Xu, C.* Overlooked Significant Impact of Trace Metals on the Bacterial Community of PM_{2.5} in High-Time Resolution / C. Xu, H. Chen, C. Zhu [et al.] // *J. of Geophysical Research: Atmospheres*. 2021. – Vol. 126 (23). – e2021JD035408. <https://doi.org/10.1029/2021JD035408>.
10. *Yang, M.* Fine and ultrafine airborne PM influence inflammation response of young adults and toxicological responses in vitro / M. Yang, P. Jalava, H. Hakkarainen [et al.] // *Science of The Total Environment*. – 2022. – Vol. 836. – 155618. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.155618>.
11. Order of the Ministry of Natural Resources and Ecology of the Russian Federation from July 30, 2020 N 524 «On approval of the requirements for monitoring the state of the environment, its pollution» (Entering into force on January 1, 2021 and valid until January 1, 2027). (In Russian).
12. Overview of the state and pollution of the environment in the Russian Federation for 2019. Federal Service for Hydrometeorology and Environmental Monitoring. – Moscow. – 2020. – <http://downloads.igce.ru/publications/reviews/review2019.pdf> (In Russian).
13. RD 52. 04. 186-89. Guidance document. Air Pollution Control Guide. – Input. 1991-07-01. – Moscow. – 1991. – 693 p. – https://fcgie.ru/download/osnovnye_dokumenty_po_vedeniyu_sgm/186_89.pdf (In Russian).
14. *Klyuyev, N. N.* Atmospheric air quality in Russian cities in 1991–2016 / N. N. Klyuev // *Proceedings of the Russian Academy of Sciences*. – Geographic series. – 2019. – No. 1. – P. 14–23. – <https://doi.org/10.31857/S2587-55662019114-23> (In Russian).
15. *Brey, S. J.* Estimating the Spread in Future Fine Dust Concentrations in the Southwest United States / S. J. Brey, J. R. Pierce, E. A. Barnes [et al.] // *J. of Geophysical Research: Atmospheres*. – 2020. – Vol. 125 (21). e2019JD031735. <https://doi.org/10.1029/2019JD031735>.
16. *Lee, G.* Roles of meteorological factors in inter-regional variations of fine and coarse PM concentrations over the Republic of Korea / G. Lee, Y. G. Lee, E. Jeong [et al.] // *Atmospheric Environment*. 2021. – Vol. 264. – 118706. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2021.118706>.
17. *Maring, H.* Mineral dust aerosol size distribution change during atmospheric transport / H. Maring, D. L. Savoie, M. A. Izaguirre [et al.] // *J. of Geophysical Research*. 2003. Vol. 108. No. D19. 8592. doi:10.1029/2002JD002536.

18. *Romanovskaya, A. Yu.* Aerosol dust of soil origin in the atmosphere: sources, quantity, properties (review) / A. Y. Romanovskaya, I. Yu. Savin // Bulletin of the Soil Institute named after V. V. Dokuchaev. – 2021. – Issue. 109. P. 36–95. DOI: 10.19047/0136-1694-2021-109-36-95 (In Russian).
19. *Zaikov, G. E.* Acid rains and the environment / G. E. Zaikov, S. A. Maslov, V. P. Rubailo. – Moscow : Chemistry, – 1991. – 139 p. (In Russian).
20. *Isidorov, V. A.* Ecological chemistry: Textbook for universities. / V. A. Isidorov // St. Petersburg : Himizdat. – 2001. – 301 p. (In Russian).
21. *Du, W.* Insights into vertical differences of particle number size distributions in winter in Beijing, China / W. Du, W. Wang, R. Liu [et al.] // Science of The Total Environment. – 2022. – Vol. 802. – 149695. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.149695>.
22. *Liao, T.* Seasonal distribution and vertical structure of different types of aerosols in southwest China observed from CALIOP / T. Liao, K. Gui, Y. Li [et al.] // Atmospheric Environment. – 2021. – Vol. 246. – 118145. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2020.118145>.
23. *Dubey, R.* Evaluation of vertical and horizontal distribution of particulate matter near an urban roadway using an unmanned aerial vehicle / R. Dubey, A. K. Patra, J. Joshi [et al.] // Science of The Total Environment. – 2022. – Vol. 836. – 155600. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.155600>.
24. *Kondratiev, K. Y.* Atmospheric aerosol. / K. Y. Kondratiev, N. I. Moskalenko, D. V. Pozdnyakov. – Leningrad : Gidrometeoizdat, 1983. – 224 p. (In Russian).
25. *Dubey, R.* Evaluation of low-cost particulate matter sensors OPC N2 and PM Nova for aerosol monitoring / R. Dubey, A. K. Patra, J. Joshi [et al.] // Atmospheric Pollution Research. – 2022. – Vol. 13(3). 101335. <https://doi.org/10.1016/j.apr.2022.101335>.
26. *Tryner, J.* Effects of aerosol type and simulated aging on performance of low-cost PM sensors / J. Tryner, J. Mehaffy, D. Miller-Lionberg [et al.] // J. of Aerosol Science. – 2020. – Vol. 150. – 105654. <https://doi.org/10.1016/j.jaerosci.2020.105654>.
27. *Baglaeva, E. M.* Mobile station for dust sampling of the surface layer of atmospheric air with height stratification / E. M. Baglaeva, A. G. Buevich, I. E. Subbotina [et al.] // ESIP. – 2017. – No. 7. – P. 23–32. (In Russian).