



Мелкодисперсные пыли в атмосферном воздухе городов федерального проекта «Чистый воздух» как фактор риска здоровью и объект управления

И.В. Май, С.Ю. Загороднов

ФБУН «Федеральный научный центр медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения» Роспотребнадзора, ул. Монастырская, д. 82, г. Пермь, 614045, Российская Федерация

Резюме

Введение. Мелкодисперсные частицы PM₁₀, PM_{2,5} доказано влияют на состояние здоровья населения, формируя в определенных концентрациях дополнительные заболевания дыхательной, сердечно-сосудистой, иммунной систем и повышенную смертность.

Цель исследования: оценка уровня содержания мелкодисперсных пылей в атмосферном воздухе ряда городов федерального проекта «Чистый воздух», рисков для здоровья, формируемых этими соединениями, и анализ перспектив управления загрязнением.

Материалы и методы. Эмпирической базой являлись более 10 тысяч результатов инструментальных измерений PM₁₀ и PM_{2,5} системы социально-гигиенического мониторинга Роспотребнадзора в 11 городах федерального проекта «Чистый воздух». Риск от воздействия PM₁₀ оценивали через индексы опасности по верхней 95%-й границе среднегодовых значений. Параметры источников выбросов анализировали по информации сводных баз данных городов.

Результаты. Установлено, в Красноярске, Новокузнецке, Липецке, Магнитогорске Медногорске, Челябинске, Чите и Омске в ходе мониторинга частицы PM₁₀ фиксируются на уровнях до 2,3 ПДК_{сг}; PM_{2,5} – на уровнях до 2,8 ПДК_{сг}. При воздействии PM₁₀ в Красноярске и Новокузнецке фиксируются высокие неприемлемые риски формирования болезней органов дыхания (HQ₉₅ = 3,61–4,73); в городах Омск, Липецк, Магнитогорск, Медногорск, Чита риски для здоровья оцениваются как недопустимые, настораживающие (HQ₉₅ = 1,1–1,9). В сводных базах данных параметров стационарных источников выбросов рассмотренных городов мелкодисперсные фракции пылей PM₁₀ и PM_{2,5} не выделены.

Заключение. Совершенствование системы управления качеством воздуха предполагает разработку и внедрение расчетных методик установления состава пылевых выбросов с выделением мелкодисперсных фракций; разработку и правовое закрепление методик инструментального измерения фракций PM₁₀ и PM_{2,5} в промышленных выбросах. Результаты мониторинга мелкодисперсных пылей и динамика риска здоровью должны рассматриваться как объективные показатели эффективности мероприятий по подавлению опасных выбросов, в том числе в рамках федерального проекта «Чистый воздух».

Ключевые слова: атмосферный воздух, мелкодисперсные частицы, PM₁₀, PM_{2,5}, риск здоровью, мониторинг.

Для цитирования: Май И.В., Загороднов С.Ю. Мелкодисперсные пыли в атмосферном воздухе городов федерального проекта «Чистый воздух» как фактор риска здоровью и объект управления // Здоровье населения и среда обитания. 2024. Т. 32. № 12. С. 39–47. doi: 10.35627/2219-5238/2024-32-12-39-47

Fine Particles in Ambient Air of the Cities Included in the Clean Air Federal Project as Health Risk Factors and Control Objects

Irina V. May, Sergey Yu. Zagorodnov

Federal Scientific Center for Medical and Preventive Health Risk Management Technologies,
82 Monastyrskaya Street, Perm, 614045, Russian Federation

Summary

Introduction: Fine respirable particles PM₁₀ and PM_{2.5} are known to affect human health; in certain concentrations, they are able to induce additional cases of respiratory, cardiovascular, and immune diseases and increased mortality rates.

Objectives: To evaluate fine particle concentrations in some cities included in the Clean Air Federal Project, to assess health risks posed by these chemicals, and to analyze prospects of pollution control.

Materials and methods: The empirical base included over 10,000 concentrations of PM₁₀ and PM_{2.5} measured within the public health monitoring system maintained by the Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Wellbeing (Rosпотребнадзор) in 11 cities involved in the Clean Air Federal Project. Risks posed by exposure to PM₁₀ were assessed using hazard quotients at the upper limit of the 95 % confidence interval of mean annual levels. Parameters of emission sources were analyzed using information from consolidated databases created for the selected cities.

Results: We established that in the cities of Krasnoyarsk, Novokuznetsk, Lipetsk, Magnitogorsk, Mednogorsk, Chelyabinsk, Chita, and Omsk, ambient PM₁₀ and PM_{2.5} concentrations were up to 2.3 and 2.8 times higher than the average annual maximum allowable concentrations, respectively. In Krasnoyarsk and Novokuznetsk, PM₁₀ exposures posed high unacceptable risks of respiratory diseases (HQ₉₅ = 3.61–4.73). In the cities of Omsk, Lipetsk, Magnitogorsk, Mednogorsk, and Chita, health risks were assessed as unacceptable and alerting (HQ₉₅ = 1.1–1.9). In summary databases of stationary emission source parameters, PM₁₀ and PM_{2.5} are not specified.

Conclusion: Improvement of the air quality management system involves developing and implementing calculation methods for establishing the composition of dust emissions with the allocation of fine fractions; developing and legally securing methods for instrumental measurement of PM₁₀ and PM_{2.5} in industrial emissions. PM monitoring results and changes in health risks should be considered as objective indicators of effectiveness of measures aimed at reducing harmful emissions, including those implemented within the Clean Air Federal Project.

Keywords: ambient air, fine particles, PM₁₀, PM_{2.5}, health risk, monitoring.

Cite as: May IV, Zagorodnov SYu. Fine particles in ambient air of the cities included in the Clean Air Federal Project as health risk factors and control objects. *Zdorov'e Naseleniya i Sreda Obitaniya*. 2024;32(12):39–47. (In Russ.) doi: 10.35627/2219-5238/2024-32-12-39-47

Введение. Повышенное пылевое загрязнение атмосферного воздуха крупных промышленных городов остается актуальной и не полностью решенной проблемой. По данным государственного доклада «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2022 году»¹ в 36 из 40 российских городов, для которых комплексный индекс загрязнения атмосферы (ИЗА) достигает или превышает 14 (очень высокое загрязнение), взвешенные вещества (пыли) входят в перечень приоритетов, формирующих это загрязнение. Среди указанных городов: Красноярск, Магнитогорск, Нижний Тагил, Новокузнецк, Чита, Кемерово, Махачкала, Черногорск, Новочеркасск, Южно-Сахалинск и ряд других.

Значимость взвешенных веществ в загрязнении атмосферного воздуха крупных городов отмечается и в ежегодном сборнике «Состояние загрязнения атмосферы в городах на территории России за 2022» ФГБУ «ГГО»². Указывается, что пылевое загрязнение является определяющим для 75 городов с высоким загрязнением воздуха, где ИЗА составляет от 7 до 13.

Многочисленными исследованиями доказано, что твердые частицы в воздухе вызывают ухудшение комфортности проживания и качества жизни населения в целом; нарушают нормальное функционирование дыхательной и сердечно-сосудистой систем [1–3]. Выявлено, что особо чувствительными группами к воздействию высокого уровня пыли относятся дети, пожилое поколение, население с заболеваниями сердечно-сосудистой системы, с респираторными заболеваниями, включая курильщиков [4, 5].

В последние несколько десятилетий в научной литературе появляется все больше публикаций, доказывающих, что наиболее опасными фракциями пылей в воздухе являются частицы диаметром менее 10 мкм (PM10) и 2,5 мкм (PM2,5) [6–9]. Пылинки размером до 10 мкм способны проникать в легкие и альвеолы, размером 2,5 мкм и менее могут преодолевать аэрогематический барьер и попадать в кровеносную систему [10, 11].

В ряде исследований показано, что возрастание содержания пылей с размером частиц до 10 мкм имеет следствием повышение смертности населения, в том числе по причинам кардиореспираторного характера [11, 12]. Имеются данные московских ученых о том, что присутствие в воздухе частиц PM10 формирует дополнительную смертность среди жителей столицы на уровне порядка 1 % от показателя общей смертности без учета внешних причин [13]. Этих потерь, несомненно, можно было бы избежать при соблюдении нормативного качества воздуха и эффективном управлении пылевым загрязнением [14]. Нередко мелкодисперсные пыли опасны тем, что сорбируют на своей поверхности и переносят на значительные расстояния высокотоксичные

соединения: соли и оксиды тяжелых металлов, реактивную органику, включая канцерогенные вещества [15–17].

На базе накопленных данных о крайне опасных последствиях присутствия в воздухе населенных мест мелкодисперсных твердых частиц, Всемирная организация здравоохранения в 2021 году опубликовала новые глобальные рекомендации по качеству воздуха. В них еще раз подтверждено, что порядка 80 % случаев смерти от воздействия PM2,5 можно предотвратить средствами, обеспечивающими достижение безопасных концентраций частиц в приземном слое атмосферы (в области дыхания человека) [18].

Федеральная служба по защите прав потребителей и благополучия человека как орган, ответственный за установление гигиенических нормативов качества среды обитания, еще в 2010 г. утвердила ПДК мелкодисперсных частиц PM10 и PM2,5. Государственные критерии должны быть обеспечены повсеместно, их достижение должны быть сориентированы все хозяйствующие субъекты, имеющие источники выбросов данных веществ³. PM10 и PM2,5 включены в перечень веществ, подлежащих государственному регулированию в области охраны окружающей среды, что закреплено Распоряжением Правительства РФ⁴.

Следует отметить, что меры государственного регулирования качеством атмосферного воздуха в последние годы претерпевают существенную модернизацию. Повышается значимость внедрения наилучших доступных технологий, совершенствуются механизмы установления нормативов допустимых выбросов. На решение последней задачи направлен эксперимент по квотированию выбросов, прежде всего в городах, включенных в федеральный проект «Чистый воздух» [19]. В рамках реализации проекта с 2020 г. в 12 городах страны (Братске, Красноярске, Липецке, Магнитогорске, Медногорске, Нижним Тагиле, Новокузнецке, Норильске, Омске, Челябинске, Череповце, Чите) ведется мониторинг качества воздуха и отрабатываются механизмы снижения наиболее опасных (приоритетных) примесей, по которым фиксируются превышения гигиенических нормативов и которые формируют неприемлемые риски нарушения здоровья населения.

Целью исследования являлась оценка уровня содержания мелкодисперсных пылей в атмосферном воздухе ряда городов федерального проекта «Чистый воздух», рисков для здоровья, формируемых этими соединениями, и анализ перспектив возможности минимизации рисков через управление выбросами.

Материалы и методы. Оценку содержания мелкодисперсных пылей в атмосферном воздухе выполняли по результатам социально-гигиенического

¹ О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2022 году. Государственный доклад. М.: Минприроды России; МГУ имени М.В. Ломоносова, 2023.

² Состояние загрязнения атмосферы в городах на территории России за 2022 г.: Ежегодник – Санкт-Петербург: ООО «Амирит», 2022. 254 с.

³ СанПиН 1.2.3685–21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания». М.: Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, 2022. 668 с.

⁴ Распоряжение Правительства РФ от 20 октября 2023 г. № 2909-р «Об утверждении перечня загрязняющих веществ, в отношении которых применяются меры государственного регулирования в области охраны окружающей среды».

мониторинга (СГМ), проводимого центрами гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора в субъектах федерации в течение 2022–2023 гг. Данные предоставлены по 11 городам – участникам ФП «Чистый воздух»: Красноярск, Липецк, Магнитогорск, Медногорск, Нижний Тагил, Новокузнецк, Норильск, Омск, Челябинск, Череповец, Чита. Во всех городах на каждом из постов мониторинга ежегодно выполнялось не менее 300 разовых и/или 75 суточных измерений PM₁₀, PM_{2,5}, что позволило получить корректные среднегодовые величины и значения верхней 95%-й границы диапазона концентраций. В целом приведенные результаты основаны на обработке более 10 тысяч измерений. При сопоставлении с ПДКсг применяли среднюю за год концентрацию примеси, ориентируясь на критерии безопасности, установленные СанПиН 1.2.3685–21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания»: ПДКсг PM₁₀ = 0,04 мг/м³; ПДКсг PM_{2,5} = 0,025 мг/м³.

Риск оценивали с применением алгоритмов и критериев, изложенных в Руководстве Р 2.1.10.3968–23⁵. Поскольку частицы PM_{2,5} при измерении входят во фракцию частиц размером менее 10 мкм (PM₁₀), во избежание переоценки, аггравации результатов риск оценивали по показателю коэффициента опасности (hazard quotient, HQ) только от воздействия PM₁₀. В качестве референтного уровня при хроническом воздействии PM₁₀ использовали значение 0,04 мг/м³. Экспозицию оценивали по верхним 95%-м доверительным границам среднесуточных концентраций за год. Коэффициент опасности в диапазоне более 1,0 до 3,0 рассматривали как характеризующий риск на уровне неприемлемый «настораживающий», выше 3,0 – неприемлемый «высокий». HQ не более единицы характеризовал приемлемый (допустимый) риск.

Параметры потенциальных источников выбросов взвешенных частиц оценивали по данным сводных баз данных об источниках, переданных Федеральной службе по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека Росприроднадзором

в 2020 г. в рамках реализации федерального проекта «Чистый воздух» и эксперимента по квотированию выбросов.

Результаты. Результаты инструментальных измерений уровней загрязнения атмосферного воздуха, фиксируемые на стационарных постах СГМ, показали, что практически повсеместно регистрировались небезопасные уровни мелкодисперсных пылей. Так, к примеру, в г. Красноярске в 2022 г. было зафиксировано 38 случаев превышений ПДК_{мр} (до 3,3 ПДК_{мр}) и 89 случаев превышения ПДК_{мр} по PM_{2,5} (до 6,0 ПДК_{мр}).

В Новокузнецке в 2022 г. на четырех постах было зарегистрировано 46 случаев нарушения ПДК_{мр} по PM₁₀ и 126 случаев нарушения ПДК_{сс} по этому веществу с кратностью до 7 ПДК_{сс}. Превышения гигиенических нормативов по PM₁₀ и/или PM_{2,5} были отмечены в Омске, Липецке, Медногорске, Челябинске и Чите.

Анализ годовой динамики суточных концентраций в таких городах, как Красноярск и Новокузнецк, свидетельствовал о выраженном повышении содержания мелкодисперсных частиц в воздухе в холодные периоды года (рис. 1). Последнее вполне объяснимо использованием в данных городах угля как основного вида топлива и влиянием объектов энергетики на загрязнение атмосферы. Соответственно, возникает предположение о наличии мелкодисперсных частиц в выбросах источников данного профиля.

В городах, где в энергетике используются иные виды топлив (Омск, Магнитогорск, Медногорск, Липецк, Челябинск), годовой ход концентраций мелкодисперсных пылей носит более равномерный характер. В качестве примера на рис. 2 приведен годовой ход концентраций PM₁₀ в Липецке. Разброс и вариабельность концентраций не столь значительны, как в городах с энергетикой, ориентированной на уголь. Более того наиболее высокие концентрации PM₁₀ и PM_{2,5} фиксируются в летнее время.

Несмотря на специфику динамики загрязнения воздуха пылевыми частицами, высокие разовые и среднесуточные концентрации примесей

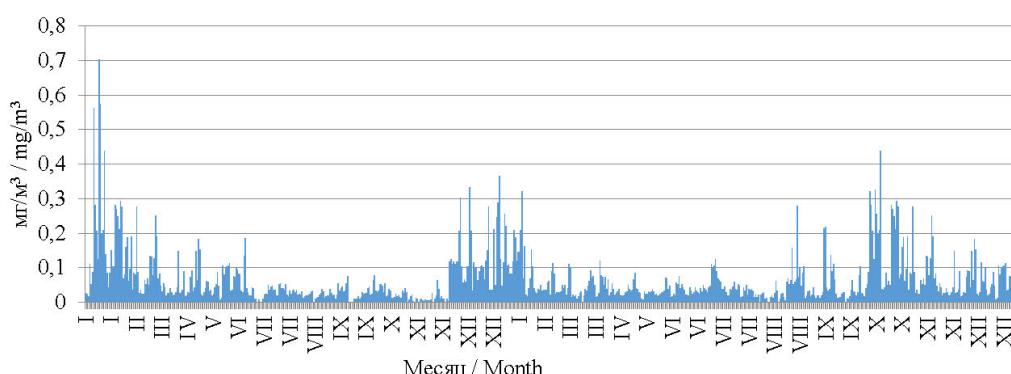


Рис. 1. Годовая динамика концентраций PM₁₀ в воздухе г. Красноярска, 2022–2023 гг. (разовые измерения на постах СГМ, N = 703)

Fig. 1. Annual dynamics of ambient PM₁₀ concentrations in Krasnoyarsk, 2022–2023 (single measurements at SHM sites, N = 703)

⁵ Р 2.1.10.3968–23 «Руководство по оценке риска здоровью населения при воздействии химических веществ, загрязняющих среду обитания», утв. Главным государственным санитарным врачом РФ 06.09.2023.

сказывались на среднегодовых уровнях загрязнения. В Красноярске, Липецке, Магнитогорске и Новокузнецке среднегодовые концентрации PM10 были выше установленных гигиенических нормативов в 2022, и в 2023 гг.; в Медногорске – в 2022 г. (табл. 1).

При этом верхняя 95%-я доверительная граница годового диапазона суточных концентраций в 2022 г. была выше гигиенического норматива в десяти из одиннадцати рассматриваемых городов (в Норильске эта величина составила 0,7 ПДКсг); в 2023 г. – в семи из одиннадцати. В целом отмечаются позитивные тенденции к снижению среднегодовых уровней загрязнения PM2,5 во всех городах, кроме Красноярска. Особенно выражено улучшение качества воздуха в Медногорске, Норильске и Нижнем Тагиле. Сохраняется стабильным уровень в Чите, Череповце, Челябинске, Омске. Насколько устойчивой является эта тенденция, можно будет оценить по результатам мониторинга 2024 г.

Среднегодовые концентрации PM10 в Красноярске, Липецке и Новокузнецке в 2022 г. превышали уровень 0,04 мг/м³, который принят в качестве референтного, безопасного для здоровья человека при хроническом воздействии. В Магнитогорске и Медногорске среднегодовые концентрации, составляя порядка 0,036 мг/м³, были очень близки к допустимой границе (табл. 2).

Верхняя 95%-я доверительная граница, установленная по среднесуточным концентрациям и рекомендованная для оценки риска здоровью, превышала референтные уровни в 7 из 12 городов и в 2022, и в 2023 гг.

В Красноярске и Новокузнецке коэффициент опасности (HQ) превышал уровень 3,0 (4,23 и 4,73 соответственно), что свидетельствовало о неприемлемом высоком риске для здоровья населения, прежде всего в части возникновения болезней органов дыхания. Коэффициенты опасности в 2023 г. несколько снизились до 4,03 и 3,61, что ниже, чем

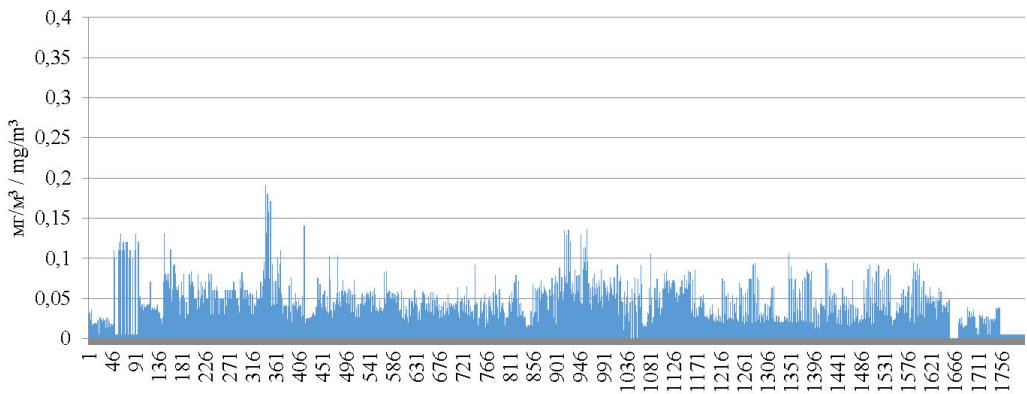


Рис. 2. Годовая динамика концентраций PM10 в воздухе г. Липецка, 2022–2023 гг.
(разовые измерения на постах СГМ, N = 1830)

Fig. 2. Annual dynamics of ambient PM10 concentrations in Lipetsk, 2022–2023
(single measurements at SHM sites, N = 1,830)

Таблица 1. Содержание PM2,5 в воздухе городов федерального проекта «Чистый воздух» по данным постов социально-гигиенического мониторинга в 2022–2023 гг.

Table 1. Ambient PM2.5 levels in the cities included in the Clean Air Federal Project measured in 2022–2023

Города / Cities	Среднегодовая концентрация PM2,5 / Average annual PM2.5 concentration					
	2022			2023		
	$M \pm m, \text{мг/м}^3$ / $M \pm m, \text{mg/m}^3$	Верхняя 95%-я граница диапазона, мг/м^3 / Upper bound of 95 % CI, mg/m^3	Доли ПДКсг / Proportion of average annual MAC	$M \pm m, \text{мг/м}^3$ / $M \pm m, \text{mg/m}^3$	Верхняя 95%-я граница диапазона, мг/м^3 / Upper bound of 95 % CI, mg/m^3	Доли ПДКсг / Proportion of average annual MAC
Красноярск / Krasnoyarsk	0,054 ± 0,024	0,169	2,15	0,059 ± 0,027	0,109	2,35
Липецк / Lipetsk	0,040 ± 0,019	0,077	1,60	0,027 ± 0,012	0,051	1,09
Магнитогорск / Magnitogorsk	0,034 ± 0,018	0,069	1,37	0,027 ± 0,011	0,049	1,06
Медногорск / Mednogorsk	0,028 ± 0,016	0,072	1,12	0,011 ± 0,006	0,023	0,44
Нижний Тагил / Nizhny Tagil	0,011 ± 0,004	0,026	0,45	0,002 ± 0,002	0,006	0,09
Новокузнецк / Novokuznetsk	0,081 ± 0,054	0,189	2,81	0,043 ± 0,019	0,079	1,70
Норильск / Norilsk	0,007 ± 0,005	0,017	0,26	0,004 ± 0,002	0,035	0,25
Омск / Omsk	0,018 ± 0,007	0,033	0,72	0,015 ± 0,009	0,038	0,76
Челябинск / Chelyabinsk	0,011 ± 0,006	0,030	0,43	0,011 ± 0,005	0,022	0,43
Череповец / Cherepovets	0,015 ± 0,009	0,042	0,58	0,015 ± 0,007	0,027	0,58
Чита / Chita	0,023 ± 0,011	0,046	0,96	0,024 ± 0,011	0,046	0,96

Таблица 2. Содержание PM10 в воздухе городов федерального проекта «Чистый воздух» и коэффициенты опасности веществ по данным постов социально-гигиенического мониторинга в 2022–2023 гг.
Table 2. Ambient PM10 levels in the cities included in the Clean Air Federal Project measured in 2022–2023 and estimated hazard quotients

Города / Cities	Среднегодовая концентрация PM10 / Average annual PM10 concentration							
	2022				2023			
	$M \pm m, \text{мг/м}^3 /$ $M \pm m, \text{mg/m}^3$	Верхняя 95%-я граница диапазона, $\text{мг/м}^3 /$ Upper bound of 95 % CI, mg/m^3	ПДКср / HQCp ⁶ / Average annual MAC/ HQ	HQ95	$M \pm m, \text{мг/м}^3 /$ $M \pm m, \text{mg/m}^3$	Верхняя 95%-я граница диапазона, $\text{мг/м}^3 /$ Upper bound of 95 % CI, mg/m^3	HQcp	HQ95
Красноярск / Krasnoyarsk	0,091 ± 0,048	0,169	2,28	4,23	0,063 ± 0,047	0,161	1,58	4,03
Липецк / Lipetsk	0,043 ± 0,018	0,077	1,08	1,93	0,030 ± 0,016	0,060	0,74	1,50
Магнитогорск / Magnitogorsk	0,036 ± 0,018	0,069	0,90	1,73	0,028 ± 0,016	0,074	0,70	1,85
Медногорск / Mednogorsk	0,036 ± 0,019	0,072	0,90	1,80	0,020 ± 0,009	0,053	0,51	1,32
Нижний Тагил / Nizhny Tagil	0,016 ± 0,007	0,030	0,40	0,75	0,004 ± 0,002	0,009	0,09	0,23
Новокузнецк / Novokuznetsk	0,081 ± 0,054	0,189	2,03	4,73	0,094 ± 0,050	0,144	1,18	3,61
Норильск / Norilsk	0,008 ± 0,005	0,011	0,20	0,28	0,010 ± 0,008	0,026	0,25	0,65
Омск / Omsk	0,023 ± 0,014	0,046	0,58	1,15	0,015 ± 0,009	0,038	0,38	0,95
Челябинск / Chelyabinsk	0,016 ± 0,010	0,035	0,41	0,88	0,028 ± 0,014	0,060	0,70	1,50
Череповец / Cherepovets	0,017 ± 0,011	0,031	0,43	0,78	0,011 ± 0,013	0,026	0,26	0,65
Чита / Chita	0,024 ± 0,015	0,041	0,60	1,08	0,028 ± 0,015	0,047	0,07	1,18

в 2022 г., но недостаточно, чтобы риск был отнесен к другой категории.

В городах Липецке, Магнитогорске, Медногорске, Омске (2022 г.), Чите, Новокузнецке, и Челябинске (2023 г.) риски здоровью жителей при воздействии PM10 оценивались как настораживающие. Риск в данном диапазоне (HQ = 1,1–3,0) классифицируется как неприемлемый. Соответственно, необходимы действия по его минимизации. Эти действия должны быть предприняты прежде всего в отношении источников, выбросы которых содержат мелкодисперсные пыли.

Анализ сводных баз данных источников для 12 городов ФП «Чистый воздух» показал, что учет мелкодисперсных пылей в составе пылевых выбросов от стационарных источников скорее исключение, чем правило. Частицы PM2,5 и менее указаны только для одного источника в сводной базе стационарных источников г. Липецка (0,0032 г/сек; менее 1 г в год). PM10 вообще отсутствует в сводных базах данных выбросах как загрязняющая примесь. PM2,5 учтены как составляющие выбросов автотранспортных средств с дизельными двигателями. При этом принимаемые в сводные расчеты массы выбросов PM2,5 крайне незначительны в сравнении с суммарными выбросами твердых веществ в целом по городу: Братск 4,71 т/год (при выбросе твердых веществ на уровне 15,4 тысячи тонн в год)⁷, Красноярск – 22,8 т/год (при выбросе твердых почти 20 тысяч тонн в год), Липецк 6,3 т/год (при сумме пылей около 7 тысяч тонн/год) и т. п.

Как следствие в результате сводных расчетов приземные концентрации PM2,5 даже в точках максимумов фиксируются на уровнях, не превышающих 0,8 ПДКср. Данные о приземных концентрациях PM10 в сводных расчетах отсутствуют.

Вместе с тем регистрация мелкодисперсных пылей в воздухе инструментальными методами свидетельствует о наличии источников этих примесей, а фиксация частиц PM2,5 на постах мониторинга, удаленных от автомагистралей, и в периоды минимальной транспортной нагрузки позволяют делать выводы о том, что не только транспорт является источником данного вида загрязнения атмосферы.

В составе выбросов в сводных базах данных стационарных и передвижных источников присутствует более 20 видов различных твердых веществ: пыль неорганическая с различным содержанием оксида кремния (70–20 %; до 20 %; более 70 %), пыль абразивная, пыль древесная, пыль зерновая; пыль сахара, сахарной пудры (сахарозы), пыль резинового вулканизата, каменного угля и т.п., но фрагментация выбросов по дисперсному составу отсутствует. Таким образом, имея де-факто загрязнение атмосферы мелкодисперсными частицами, выполнить процедуру обоснования сокращения выбросов не представляется возможным в силу отсутствия объектов управления – источников выбросов этих частиц.

Обсуждение. Ряд научно-технических материалов и публикаций свидетельствуют, что мелкодисперсные пыли являются составной частью пылевых выбросов многих производств и технологических процессов.

⁵ Р 2.1.10.3968–23 «Руководство по оценке риска здоровью населения при воздействии химических веществ, загрязняющих среду обитания», утв. Главным государственным санитарным врачом РФ 06.09.2023.

⁶ Согласно СанПиН 1.2.3685–21 ПДКср для PM10 равна мг/м^3 , установлена с учетом критериев риска для здоровья, совпадает с референтным уровнем, принимаемым для оценки риска здоровью населения.

⁷ Отчет о выполнении работ «Формирование сводных расчетов загрязнения атмосферного воздуха для городов Братск, Красноярск, Липецк, Магнитогорск, Медногорск, Нижний Тагил, Новокузнецк, Норильск, Омск, Челябинск, Череповец и Чита, включая инструментальные обследования загрязнения атмосферного воздуха. Проведение анализа репрезентативности существующей сети инструментальных наблюдений за состоянием атмосферного воздуха и возможные пути развития». СПб.: АО НИИ Атмосферы. 2020. 164 с.

Доказано инструментальными методами наличие PM10 и PM2,5 в составе пылегазовых выбросов строительной, металлургической, горнодобывающих отраслей [20–23]. Объекты энергетики, работающие на твердом топливе, также образуют частицы с диаметрами менее 10 мкм [24, 25]. Представляется крайне актуальной задачей развитие нормативно-методической базы, директивно обязывающей хозяйствующие субъекты выделять в составе пылевых выбросов фракции с размерами частиц менее 10 и 2,5 мкм. Действующее на текущий момент распоряжение Минприроды России № 38-Р от 26.12.2022 (в редакции от 19.17.2024)⁸ содержит перечень из 129 методик расчета состава и масс выбросов. Из указанного списка 65 методик предусматривают учет отдельных видов твердых соединений, однако только три из них предполагают учет в составе выбросов частиц PM10 и PM2,5: «Методика расчета выбросов от источников горения...»⁹, «Методика определения и расчета выбросов загрязняющих веществ от лесных пожаров»¹⁰, «Методика по расчету выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух от факельных установок по сжиганию попутного нефтяного газа...»¹¹.

Хозяйствующие субъекты, выполняя инвентаризацию источников выделения и выбросов, используют стандартизованные и утвержденные методики, не требующие дополнительных инструментальных измерений. Более того, в государственном реестре методов измерений¹² на сегодня отсутствуют утвержденные методики определения мелкодисперсных фракций пыли в промышленных выбросах. Последнее существенно осложняет применение инструментальных методов измерений при проведении инвентаризации источников. А в силу того, что статья 4 Федерального закона 20.12.20021 № 7-ФЗ «Об охране окружающей среды»¹³ закрепляет, что меры государственного регулирования применяются в отношении загрязняющих веществ при наличии методик (методов) измерения загрязняющих веществ, регулирование и сокращение выбросов PM10 и PM2,5 теряют правовую поддержку. Как следствие, мелкодисперсные фракции пыли «выпадают» из системы государственного нормирования выбросов. При этом, как показало в том числе настоящее исследование, неприемлемые риски для здоровья, которые формируют опасные частицы, сохраняются. Только в Красноярске и Новокузнецке в условиях высокого риска, сформированного мелкодисперс-

ными пылями проживает более 1,5 млн человек. При этом следует отметить, что в этих городах и в 2021 г. регистрировали высокие уровни PM10 (Красноярск – 0,054 мг/м³; Новокузнецк – 0,082 мг/м³). Еще 1,5 млн граждан испытывают повышенный настораживающий риск в Челябинске, Магнитогорске, Медногорске. То есть ситуация остается проблемной и требует мер по улучшению.

Мониторинг мелкодисперсных пылей, управление выбросами этих опасных примесей и контроль результативности управления через анализ рисков здоровью должны рассматриваться как важнейшие инструменты обеспечения санитарно-эпидемиологического благополучия населения [26].

Закключение. Атмосферный воздух городов, вошедших в федеральный проект «Чистый воздух»: Красноярск, Новокузнецк, Липецк, Магнитогорск, Медногорск, Челябинск, Чита, Омск характеризовался в 2022–2023 гг. среднегодовыми концентрациями мелкодисперсных частиц PM10 и/или PM2,5 на уровнях 1,1–2,8 ПДКсг. Частицы PM10 формировали в Красноярске и Новокузнецке недопустимые высокие риски возникновения болезней органов дыхания (HQ95 = 3,61–4,73). В городах Омск, Липецк, Магнитогорск, Медногорск, Чита риски для здоровья оценивались как недопустимые настораживающие (HQ95 = 1,1–1,9). В сводных базах данных параметров стационарных источников выбросов рассмотренных городов мелкодисперсные фракции пыли PM10 и PM2,5 не выделены.

Перспективы совершенствования системы государственного управления качеством воздуха и минимизации рисков здоровью населения лежат в плоскости разработки и внедрения расчетных методик состава пылевых выбросов отдельных производств с обязательным выделением в их составе мелкодисперсных фракций; разработки и правового закрепления методик инструментальных измерений фракций PM10 и PM2,5 в промышленных выбросах.

Результаты мониторинга мелкодисперсных пылей в атмосферном воздухе населенных пунктов могут и должны рассматриваться как объективные показатели эффективности мероприятий по подавлению опасных выбросов, в том числе в рамках федерального проекта «Чистый воздух».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Нахратова О.В., Цыганкова Д.П., Баздырев Е.Д. Влияние загрязнения атмосферного воздуха взвешенными

⁸ Распоряжение Минприроды России № 38-Р от 26.12.2022 (в редакции от 19.17.2024). [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://www.mnr.gov.ru/docs/metodicheskie_dokumenty/metodiki_rascheta_vybrosov_vrednykh_zagryaznyayushchikh_veshchestv_v_atmosfernyy_vozdukh_statsionarn/ (дата обращения: 02.09.2024).

⁹ Методика расчета выбросов от источников горения при разливе нефти и нефтепродуктов (утверждена приказом Госкомэкологии России от 05.03.1997 № 90).

¹⁰ Методика определения и расчета выбросов загрязняющих веществ от лесных пожаров (утверждена приказом Госкомэкологии России от 05.03.1997 № 90).

¹¹ Методика по расчету выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух от факельных установок по сжиганию попутного нефтяного газа (ПНГ) с дополнительной подачей воздуха (используемых на объектах ООО «ЯРГЕО» или аналогичных установок) (утверждена Генеральным директором АО «НИИ Атмосфера» О.А. Марцынковским и Генеральным директором ООО «ЯРГЕО» А.В. Подшибякиным, 2020).

¹² Федеральный информационный фонд по обеспечению единства измерений. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://fgis.gost.ru/fundmetrology/registry> (дата обращения: 02.09.2024)

¹³ Федеральный закон от 10.01.2002 № 7-ФЗ «Об охране окружающей среды» (с изменениями на 8 августа 2024 года) (редакция, действующая с 1 сентября 2024 года).

- частицами на риск сердечно-сосудистых заболеваний (обзор) // Экология человека. 2022. Т. 29. № 8. С. 531–546. doi.org/10.17816/humeco104609
2. Pouri N, Karimi B, Kolivand A, Mirhoseini SH. Ambient dust pollution with all-cause, cardiovascular and respiratory mortality: A systematic review and meta-analysis. *Sci Total Environ*. 2024;912:168945. doi: 10.1016/j.scitotenv.2023.168945
 3. Walter CM, Schneider-Futschik EK, Lansbury NL, Sly PD, Head BW, Knibbs LD. The health impacts of ambient air pollution in Australia: A systematic literature review. *Intern Med J*. 2021;51(10):1567–1579. doi: 10.1111/imj.15415
 4. Zhang X, Zhao L, Tong DQ, Wu G, Dan M, Teng B. A systematic review of global desert dust and associated human health effects. *Atmosphere*. 2016;7(12):158. doi: 10.3390/atmos7120158
 5. Shin HH, Maquiling A, Thomson EM, Park IW, Stieb DM, Dehghani P. Sex-difference in air pollution-related acute circulatory and respiratory mortality and hospitalization. *Sci Total Environ*. 2022;806(Pt 3):150515. doi: 10.1016/j.scitotenv.2021.150515
 6. Ochoa-Alvarado LM, Zafra-Mejía CA, Rondón-Quintana HA. Multitemporal analysis of the influence of PM10 on human mortality according to urban land cover. *Atmosphere*. 2022;13(12):1949. doi: 10.3390/atmos13121949
 7. Wu JZ, Ge DD, Zhou LF, Hou LY, Zhou Y, Li QY. Effects of particulate matter on allergic respiratory diseases. *Chronic Dis Transl Med*. 2018;4(2):95–102. doi: 10.1016/j.cdtm.2018.04.001
 8. WHO Regional Office for Europe. Review of evidence on health aspects of air pollution – REVIHAAP Project: Technical Report [Internet]. Copenhagen: WHO Regional Office for Europe; 2013. Accessed December 13, 2024. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK361803/>
 9. Просвирякова И.А., Шевчук Л.М. Гигиеническая оценка содержания твердых частиц PM 10 и PM 2.5 в атмосферном воздухе и риска для здоровья жителей в зоне влияния выбросов стационарных источников промышленных предприятий // Анализ риска здоровью. 2018. № 2. С. 14–22. doi: 10.21668/health.risk/2018.2.02
 10. Trippetta S, Sabia S, Caggiano R. Fine aerosol particles (PM1): Natural and anthropogenic contributions and health risk assessment. *Air Qual Atmos Health*. 2016;9(6):621–629. doi: 10.1007/s11869-015-0373-0
 11. Трусов П.В., Цинкер М.Ю., Зайцева Н.В., Нурисламов В.В., Свинцова П.Д., Кучуков А.И. Оценка пространственного распределения зон локализации риска развития бронхолегочной патологии на основе математического моделирования воздушно-пылевых потоков в дыхательных путях и легких человека // Анализ риска здоровью. 2024. № 2. С. 141–152. doi: 10.21668/health.risk/2024.2.13
 12. Curtis L, Rea W, Smith-Willis P, Fenyses E, Pan Y. Adverse health effects of outdoor air pollutants. *Environ Int*. 2006;32(6):815–830. doi: 10.1016/j.envint.2006.03.012
 13. Иваненко А.В., Судакова Е.В., Скворцов С.А., Бестужева Е.В. Оценка риска здоровью населения от воздействия атмосферных загрязнений на отдельных территориях города Москвы // Гигиена и санитария. 2017. Т. 96. № 3. С. 206–211. doi: 10.18821/0016-9900-2017-96-3-206-211
 14. Ревич Б.А. Мелкодисперсные взвешенные частицы в атмосферном воздухе и их воздействие на здоровье жителей мегаполисов // Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем. 2018. Т. 29. № 3. С. 53–78. doi: 10.21513/0207-2564-2018-3-53-78
 15. Тихонова И.В., Землянова М.А., Кольдибекова Ю.В., Пескова Е.В., Игнатова А.М. Гигиеническая оценка аэрогенного воздействия взвешенных веществ на заболеваемость детей болезнями органов дыхания в зоне влияния источников выбросов металлургического производства // Анализ риска здоровью. 2020. № 3. С. 61–69. doi: 10.21668/health.risk/2020.3.07
 16. Larionov A, Volobaev V, Zverev A, et al. Chemical composition and toxicity of PM10 and PM0.1 samples near open-pit mines and coal power stations. *Life (Basel)*. 2022;12(7):1047. doi: 10.3390/life12071047
 17. Безбердая Л.А., Касимов Н.С. Уровни накопления тяжелых металлов и металлоидов в почвах, дорожной пыли и их фракциях PM10 в Ялте. В сборнике: Проблемы экоинформатики. Материалы XV Международного симпозиума. Сер. «Научные Международные симпозиумы» / Под редакцией Ф.А. Мкртчяна. Москва, 2022. С. 189–193.
 18. ВОЗ. Глобальные рекомендации ВОЗ по качеству воздуха: касающиеся твердых частиц (ТЧ2,5 и ТЧ10), озона, двуокиси азота, двуокиси серы и окиси углерода. 2021.
 19. Марцынковский О.А., Двинянина О.В., Васькина А.А., Романов А.В. Федеральный проект «Чистый воздух»: новый уровень жизни // Стандарты и качество. 2022. № 3. С. 93–95. EDN: IOHATU.
 20. Чижова В.С., Пыжова Е.А. Обзор методик расчета выбросов взвешенных частиц PM10 и PM2,5 в атмосферный воздух дорожно-транспортным комплексом на территориях крупных городов // Научный вестник автомобильного транспорта. 2021. № 3. С. 18–25.
 21. Дормидонтова Т.В., Алиев Э.Р. Влияние строительства и реконструкции автомобильных дорог на экологию // Тенденции развития науки и образования. 2022. № 87-3. С. 64–67.
 22. Сницерева В.П., Козлова Л.О. Источники пылеобразования и комплексное обеспыливание на Жезказганских обогатительных фабриках // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2021. № S1-1. С. 38–46.
 23. Соломахина Л.Я., Редван А.М., Остаали М. Анализ пылевого фактора вредного воздействия при производстве цемента в республике Йемен и в Российской Федерации // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2017. № 50 (69). С. 294–302.
 24. Акимочкина Г.В., Роговенко Е.С., Гареева А.С., Фоменко Е.В. Аэродинамическое выделение дисперсных микросфер PM2,5, PM10 из зол-уноса от сжигания бурых углей с целью получения новых материалов // Журнал Сибирского федерального университета. Серия: Химия. 2022. Т. 15. № 3. С. 387–397.
 25. Андришунас А.М., Клейн С.В., Горяев Д.В., Балашов С.Ю., Загороднов С.Ю. Гигиеническая оценка эффективности воздухоохраных мероприятий на объектах теплоэнергетики // Гигиена и санитария. 2022. Т. 101. № 11. С. 1290–1298.
 26. Ракитский В.Н., Авалиани С.Л., Новиков С.М., Шашина Т.А., Додина Н.С., Кислицин В.А. Анализ риска здоровью при воздействии атмосферных загрязнений как составная часть стратегии уменьшения глобальной эпидемии неинфекционных заболеваний // Анализ риска здоровью. 2019. № 4. С. 30–36. doi: 10.21668/health.risk/2019.4.03

REFERENCES

1. Nakhratova OV, Tsygankova DP, Bazdyrev ED. Impact of air pollution with particulate particles on the risk of cardiovascular diseases (review). *Ekologiya Cheloveka (Human Ecology)*. 2022;29(8):531–546. (In Russ.) doi: 10.17816/humeco104609

2. Pouri N, Karimi B, Kolivand A, Mirhoseini SH. Ambient dust pollution with all-cause, cardiovascular and respiratory mortality: A systematic review and meta-analysis. *Sci Total Environ*. 2024;912:168945. doi: 10.1016/j.scitotenv.2023.168945
3. Walter CM, Schneider-Futschik EK, Lansbury NL, Sly PD, Head BW, Knibbs LD. The health impacts of ambient air pollution in Australia: A systematic literature review. *Intern Med J*. 2021;51(10):1567–1579. doi: 10.1111/imj.15415
4. Zhang X, Zhao L, Tong DQ, Wu G, Dan M, Teng B. A systematic review of global desert dust and associated human health effects. *Atmosphere*. 2016;7(12):158. doi: 10.3390/atmos7120158
5. Shin HH, Maquiling A, Thomson EM, Park IW, Stieb DM, Dehghani P. Sex-difference in air pollution-related acute circulatory and respiratory mortality and hospitalization. *Sci Total Environ*. 2022;806(Pt 3):150515. doi: 10.1016/j.scitotenv.2021.150515
6. Ochoa-Alvarado LM, Zafra-Mejía CA, Rondón-Quintana HA. Multitemporal analysis of the influence of PM10 on human mortality according to urban land cover. *Atmosphere*. 2022;13(12):1949. doi: 10.3390/atmos13121949
7. Wu JZ, Ge DD, Zhou LF, Hou LY, Zhou Y, Li QY. Effects of particulate matter on allergic respiratory diseases. *Chronic Dis Transl Med*. 2018;4(2):95–102. doi: 10.1016/j.cdtm.2018.04.001
8. WHO Regional Office for Europe. Review of evidence on health aspects of air pollution – REVIHAAP Project: Technical Report [Internet]. Copenhagen: WHO Regional Office for Europe; 2013. Accessed December 13, 2024. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK361803/>
9. Prosviryakova IA, Shevchuk LM. Hygienic assessment of PM10 and PM2.5 contents in the atmosphere and population health risk in zones influenced by emissions from stationary sources located at industrial enterprises. *Health Risk Analysis*. 2018;(2):14–22. doi: 10.21668/health.risk/2018.2.02.eng
10. Trippetta S, Sabia S, Caggiano R. Fine aerosol particles (PM1): Natural and anthropogenic contributions and health risk assessment. *Air Qual Atmos Health*. 2016;9(6):621–629. doi: 10.1007/s11869-015-0373-0
11. Trusov PV, Tsinker MYu, Zaitseva NV, Nurislamov VV, Svintsova PD, Kuchukov AI. Assessing spatial distribution of sites with a risk of developing bronchopulmonary pathology based on mathematical modeling of air-dust flows in the human airways and lungs. *Health Risk Analysis*. 2024;(2):141–152. doi: 10.21668/health.risk/2024.2.13.eng
12. Curtis L, Rea W, Smith-Willis P, Fenyves E, Pan Y. Adverse health effects of outdoor air pollutants. *Environ Int*. 2006;32(6):815–830. doi: 10.1016/j.envint.2006.03.012
13. Ivanenko AV, Sudakova EV, Skvortsov SA, Bestuzheva EV. Assessment of risks to the health of the population from air borne contaminants in certain areas of Moscow (based on the findings of on-going socio-hygienic monitoring). *Gigiena i Sanitariya*. 2017;96(3):206–211. (In Russ.) doi: 10.47470/0016-9900-2017-96-3-206-211
14. Revich BA. Fine suspended particulates in ambient air and their health effects in megalopolises. *Problemy Ekologicheskogo Monitoringa i Modelirovaniya Ekosistem*. 2018;29(3):53–78. (In Russ.) doi: 10.21513/0207-2564-2018-3-53-78
15. Tikhonova IV, Zemlyanova MA, Kol'dibekova YuV, Peskova EV, Ignatova AM. Hygienic assessment of aerogenic exposure to particulate matter and its impacts on morbidity with respiratory diseases among children living in a zone influenced by emissions from metallurgic production. *Health Risk Analysis*. 2020;(3):60–68. doi: 10.21668/health.risk/2020.3.07.eng
16. Larionov A, Volobaev V, Zverev A, et al. Chemical composition and toxicity of PM10 and PM0.1 samples near open-pit mines and coal power stations. *Life (Basel)*. 2022;12(7):1047. doi: 10.3390/life12071047
17. Bezberdaya LA, Kasimov NS. Levels of accumulation of heavy metals and metalloids in soil, road dust and their PM10 fractions in Yalta. In: Mkrtchyan FA, ed. *Problems of Ecoinformatics: Proceedings of the XV International Symposium, Moscow, December 6–8, 2022*. Moscow: A.S. Popov Scientific & Technical Society of Radio Engineering, Electronics and Communication; 2022:189–193. (In Russ.)
18. WHO global air quality guidelines. Particulate matter (PM2.5 and PM10), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide. Geneva: World Health Organization; 2021. Accessed December 13, 2024. <https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/345329/9789240034228-eng.pdf?sequence=1>
19. Martsynkovskiy OA, Dvinyanina OV, Vas'kina AA, Romanov AV. Federal Project “Clean Air”: A new standard of living. *Standarty i Kachestvo*. 2022;(3):93–95. (In Russ.)
20. Chizhova VS, Pyzhova EA. Review of methods for calculating the emissions of suspended particles PM10 and PM2.5 into the atmospheric air by a motor transport complex in the territories of large cities. *Nauchnyy Vestnik Avtomobil'nogo Transporta*. 2021;(3):18–25. (In Russ.)
21. Dormidontova TV, Aliev ER. [Impact of road construction and reconstruction on the environment.] *Tendentsii Razvitiya Nauki i Obrazovaniya*. 2022;(87-3):64–67. (In Russ.) doi: 10.18411/trnio-07-2022-96
22. Snitsereva VP, Kozlova LO. Sources of dust formation and integrated dusting at Zhezkazgan concentrating factories. *Gornyy Informatsionno-Analiticheskiy Byulleten'*. 2021;(51-1):38–46. (In Russ.) doi: 10.25018/0236_1493_2021_1_1_38
23. Solomakhina LYa, Redvan AM, Ostaali M. The analysis of harmful dust factor at cement production in the Republic of Yemen and the Russian Federation. *Vestnik Volgogradskogo Gosudarstvennogo Arkhitekturno-Stroitel'nogo Universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i Arkhitektura*. 2017;(50(69)):294–302. (In Russ.)
24. Akimochkina GV, Rogovenko ES, Gareeva AS, Fomenko EV. Aerodynamic separation of dispersed microspheres PM2.5, PM10 from fly ash of lignite combustion for production of new materials. *Zhurnal Sibirskogo Federal'nogo Universiteta. Seriya: Khimiya*. 2022;15(3):387–397. (In Russ.) doi: 10.17516/1998-2836-0302
25. Andrishunas AM, Kleyn SV, Goryaev DV, Balashov SYu, Zagorodnov SYu. Hygienic assessment of air protection activities at heat-and-power engineering enterprises. *Gigiena i Sanitariya*. 2022;101(11):1290–1298. (In Russ.) doi: 10.47470/0016-9900-2022-101-11-1290-1298
26. Rakitskii VN, Avaliani SL, Novikov SM, Shashina TA, Dodina NS, Kislitsin VA. Health risk analysis related to exposure to ambient air contamination as a component in the strategy aimed at reducing global non-infectious epidemics. *Health Risk Analysis*. 2019;(4):30–36. doi: 10.21668/health.risk/2019.4.03.eng

<https://doi.org/10.35627/2219-5238/2024-32-12-39-47>
Original Research Article

Сведения об авторах:

Май Ирина Владиславовна – д.б.н., профессор, главный научный сотрудник – советник директора; e-mail: may@fcrisk.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0976-7016>.

✉ **Загороднов** Сергей Юрьевич – к.т.н., руководитель экспертной группы лаборатории методов комплексного санитарно-гигиенического мониторинга; e-mail: zagorodnov@fcrisk.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6357-1949>.

Информация о вкладе авторов: концепция, дизайн исследования, анализ и интерпретация результатов: *Май И.В.*; сбор и обработка данных, подготовка проекта рукописи: *Загороднов С.Ю.* Все авторы ознакомились с результатами работы и одобрили окончательный вариант рукописи.

Соблюдение этических стандартов: данное исследование не требует представления заключения комитета по био-медицинской этике или иных документов.

Финансирование: исследование выполнено при финансировании научных работ в рамках федерального проекта «Чистый воздух» национального проекта «Экология».

Конфликт интересов: авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов в связи с публикацией данной статьи.

Статья получена: 16.10.24 / Принята к публикации: 10.12.24 / Опубликовано: 26.12.24

Author information:

Irina V. **May**, Dr. Sci. (Biol.), Prof., Deputy Director for Research; e-mail: may@fcrisk.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0976-7016>.

✉ **Sergey Yu. Zagorodnov**, Cand. Sci. (Tech.), Head of the Expert Group, Laboratory of Comprehensive Sanitary and Hygienic Monitoring Methods; e-mail: zagorodnov@fcrisk.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6357-1949>.

Author contributions: study conception and design, data analysis and interpretation of results: *May I.V.*; data collection and processing, draft manuscript preparation: *Zagorodnov S.Yu.* Both authors reviewed the results and approved the final version of the manuscript.

Compliance with ethical standards: Not applicable.

Funding: The research was conducted as part of the Clean Air Federal Project implemented within the Ecology National Project

Conflict of interest: The authors have no conflicts of interest to declare.

Received: October 16, 2024 / Accepted: December 10, 2024 / Published: December 26, 2024