
**ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ (ТЕХНИЧЕСКИЕ И ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ)
ECOLOGICAL SAFETY (TECHNICAL AND CHEMICAL)**

УДК 504.3.054

**ОЦЕНКА НЕГАТИВНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ МЕЛКОДИСПЕРСНОЙ ПЫЛИ
НА ГОРОДСКУЮ ТЕРРИТОРИЮ ОТ ТОЧЕЧНОЙ ЗАСТРОЙКИ**

С. Е. МАНЖИЛЕВСКАЯ

Донской государственный технический университет,
Российская Федерация, г. Ростов-на-Дону
E-mail: smanzhilevskaya@yandex.ru

В настоящее время проблема загрязнения воздуха в городах приобретает глобальный масштаб и становится предметом все более серьезного внимания специалистов. Интенсивное развитие строительной индустрии и применение новых технологий, ускоряющих процесс возведения зданий и сооружений, приводят к серьезному ухудшению качества атмосферного воздуха, особенно в городских районах. Это подчеркивает важность проведения всестороннего анализа пылевого загрязнения PM_{2.5} и PM₁₀ от точечной застройки и оценки его негативного воздействия на городскую территорию. Необходимо выявить все факторы, влияющие на уровень пылевого загрязнения на строительных объектах, и изучить механизмы распространения пыли в городской среде с учетом уже существующего уровня загрязнения, который зависит от конкретных климатических, природных и топографических особенностей данной территории.

Цель данного исследования заключается в проведении всесторонней оценки пылевых частиц, образующихся в процессе строительства в черте города. Это необходимо для обоснования технической и экономической целесообразности выбора наиболее эффективных технологических решений по контролю за выбросами пыли PM₁₀ и PM_{2.5} за пределы строительной площадки на территории города. Объектом оценки негативного воздействия PM_{2.5} и PM₁₀ в городской среде от точечной застройки стала строительная площадка станционного комплекса «Новаторская» (вестибюль № 1) в г. Москва.

Результаты исследования подтвердили значительное превышение допустимых максимально разовых концентраций PM₁₀, которые были выше нормы в 1.75 раза, достигая в пиковые моменты 526.6 мкг/м³. В процессе реализации работ по сносу зданий, разработки котлована и устройству фундамента наблюдалось превышение показателя максимально разовой концентрации PM_{2.5} до 181.4 мкг/м³, что указывает на высокий уровень загрязнения воздуха городской территории, прилегающей к строительной площадке. Эти данные подтверждают необходимость усиления экологического контроля в городских районах активного строительства, в том числе, ужесточение мер по контролю за чистотой воздуха и активное внедрение стратегий по минимизации воздействия загрязнителей на здоровье населения.

Ключевые слова: мелкодисперсная пыль, загрязнение воздушной среды, пылевое загрязнение, экологическая безопасность городских территорий, оценка экологических рисков, строительная пыль.

**ASSESSMENT OF THE NEGATIVE IMPACT OF FINE DUST ON URBAN TERRITORY
FROM POINT DEVELOPMENT**

S. E. MANZHILEVSKAYA

Federal State Budget Educational Establishment of Higher Education «Don State Technical University»,
Russian Federation, Rostov-on-Don
E-mail: smanzhilevskaya@yandex.ru

Currently, the problem of air pollution in cities is acquiring a global scale and is becoming the subject of increasing serious attention by specialists. The intensive development of the construction industry and the use of new technologies that accelerate the construction of buildings and structures lead to a serious deterioration in the quality of atmospheric air, especially in urban areas. This underlines the importance of conducting

a comprehensive analysis of dust pollution PM_{2.5} and PM₁₀ from point-pattern construction development and assessing its negative impact on the urban area. It is necessary to identify all the factors influencing the level of dust pollution at construction sites and to study the mechanisms of dust distribution in the urban environment, taking into account the existing level of pollution, which depends on the specific climatic, natural and topographic features of the given territory. The purpose of this study is to conduct a comprehensive assessment of dust particles generated during construction in the urban environment. This is necessary to substantiate the technical and economic feasibility of choosing the most effective technological solutions for controlling PM₁₀ and PM_{2.5} dust emissions outside the construction site in the city. The object of the assessment of the negative impact of PM_{2.5} and PM₁₀ in the urban environment from point-pattern construction development was the construction site of the subway station «Innovatorskaya» in Moscow. The results of the study confirmed a significant excess of the permissible maximum single concentrations of PM₁₀, which were 1.75 times higher than normal, reaching 526.6 µg/m³ at peak moments. During the demolition of buildings, excavation and foundation construction, the maximum single concentration of PM_{2.5} was exceeded to 181.4 µg/m³, which indicates a high level of air pollution in the urban area adjacent to the construction site. These data confirm the need to strengthen environmental control in urban areas of active construction, including stricter air quality control measures and active implementation of strategies to minimize the impact of pollutants on public health.

Key words: fine dust, air pollution, dust pollution, environmental safety of urban areas, environmental risk assessment, construction dust.

Введение

В настоящее время проблема загрязнения воздуха в городах приобретает глобальный масштаб и становится предметом все более серьезного внимания специалистов [1]. Интенсивное развитие строительной индустрии и применение новых технологий, ускоряющих процесс возведения зданий и сооружений, приводят к серьезному ухудшению качества атмосферного воздуха, особенно в городских районах [2]. Разнообразные строительные операции, начиная с земельных работ и заканчивая отделкой, включая подготовку цементных растворов и благоустройство территории, приводят к значительной выработке пылевых частиц [3].

Исследования показывают, что мелкодисперсные частицы PM₁₀ и особенно PM_{2.5}, проникая в органы дыхания, могут способствовать развитию хронических респираторных заболеваний [4]. Поэтому важное значение приобретает обеспечение экологической безопасности в городской атмосфере, являющееся одним из ключевых приоритетов современных исследований.

Современное точечное строительство в условиях плотной городской застройки требует особого внимания к соблюдению экологических стандартов [5]. Анализ уровня пылевого загрязнения, постоянный мониторинг пылевых выбросов, выбор и обоснование технологических решений, направленных на снижение распространения пылевых выбросов за пределы строительной площадки, играют критическую роль в минимизации воздействия твердых взвешенных частиц на качество воздуха на протяжении всего процесса строительства [6].

Для улучшения экологической ситуации в городах необходимо применять комплексный подход. Проблема борьбы со строительной

пылью привлекла внимание многих ученых, которые предложили разнообразные решения. Научные коллективы из различных стран, включая Корею, Великобританию, США, Китай и Европу, достигли значительных успехов в снижении уровня пылевого загрязнения в атмосфере. Ученые активно исследуют проблему строительной пыли в урбанистических зонах, а специалисты из Китая глубоко изучают интенсивность и концентрацию пылевых выбросов во время строительных работ [7–13].

Новейшие методы исследования значительно углубили наше понимание процессов распространения строительной пыли в густонаселенных районах, что имеет важное значение для крупных городов с высокой плотностью населения [14]. Научные исследования в области изучения мелкодисперсной пыли и пылевых выбросов в строительстве привлекли внимание многих российских ученых, включая Азарова В. Н. [15, 16], Сидельникову О.Е. [17], Стреляева А.Б. [18], Теличенко В. И. [19], Мензелинцеву Н.В. [20], Кошкарёва С.А. [21], Ильичева В.А. [22], Колчунова В.И. [23], Бакаева Н.В. [24], Ложкину О.В. [25], Богуславского Е.И. [26] и других. Однако строительная отрасль стремительно развивается, что приводит к возникновению множества строительных объектов в условиях густой городской застройки.

В современных крупных городах активно возводятся здания различной высоты, объекты инфраструктуры, включая метрополитен, постепенно принося свой вклад в общий уровень пылевой загрязненности городской территории. Это подчеркивает важность проведения всестороннего анализа физико-химических свойств частиц PM₁₀ и PM_{2.5} в качестве потенциальных источников загрязнения. Необходимо выявить все факторы, влияющие на

уровень пылевого загрязнения на строительных объектах, и изучить механизмы распространения пыли в городской среде. Это требует учета уже существующего уровня загрязнения, который зависит от конкретных климатических, природных и топографических особенностей данной территории.

Цель данного исследования заключается в проведении всесторонней оценки пылевых частиц, образующихся в процессе строительства в городской среде. Это необходимо для обоснования технической и экономической целесообразности выбора наиболее эффективных технологических решений по контролю за выбросами пыли PM10 и PM2.5 за пределы строительной площадки на территории города. Систематизация и классификация различных типов строительной пыли по их физико-химическим свойствам позволят создать справочник, который станет важным инструментом для проектировщиков при выборе оптимальных систем



очистки воздуха от пыли и разработке защитных мероприятий на основе детального анализа характеристик строительных пылевых загрязнений.

Материал и методы исследования

Москва – административная столица Российской Федерации с активно развивающимся сектором точечной застройки и расширением объемов реализации объектов инфраструктуры, таких как метрополитен. С учетом высокой плотности населения и интенсивного строительства, наблюдается увеличение пылевого загрязнения в атмосфере, включая PM2.5 и PM10 [27]. Объектом оценки негативного воздействия PM2.5 и PM10 в городской среде от точечной застройки в данном исследовании стала строительная площадка станционного комплекса «Новаторская» (вестибюль № 1) в г. Москва, рис. 1.



Рис.1. Строительная площадка вестибюля №1 станционного комплекса «Новаторская» в г. Москва.

Отбор проб пылевого загрязнения PM2.5 и PM10 проводился на городской территории, граничащей со строительной площадкой в период с мая по август 2023 года дважды в неделю по 120 мин с помощью электронного аспиратора PU-3E/12 со специальными фильтрами, изготовленными из перхлорвиниловых волокон площадью 10 см² при производстве работ по сносу наземных сооружений, разработке котлована, устройству фундамента под вестибюль согласно ГОСТ Р 58577-2019¹. Фильтры, использованные для отбора проб, первоначально стабилизировались по весу до внесения в специальные держатели IRA-10. Эти держатели обеспечивали точность измерений концентрации загрязняющих веществ в воздухе. После

снятия показаний массы (m), каждый фильтр помещали в соответствующий бумажный пакет, на который предварительно наносили идентификационный номер и вес образца с точностью до 0.1 мг. Для предотвращения загрязнения образца, хранение фильтров происходило при температуре +25 °C в чистом помещении. Прежде чем приступить к взвешиванию, фильтры выдерживали в лаборатории в течение 24 ч после получения их с мест отбора проб. Пока масса высушенных образцов не зафиксировалась на одном уровне, их взвешивание проводилось многократно. Во время отбора проб для анализа частиц пыли, контролировались метеорологические данные, включая влажность (W , %), температуру (t , °C) и скорость движения

¹ ГОСТ Р 58577-2019. Правила установления нормативов допустимых выбросов загрязняющих веществ проектируемыми и действующими хозяйствующими

субъектами и методы определения этих нормативов. М.: АО «НИИ Атмосфера». 2019. 16 с.

воздушного потока (V , м/с). Во время отбора образцов погодные условия были преимущественно следующие: $t = +20-25\text{ }^{\circ}\text{C}$, $W = 30-40\%$, $V = 3-5\text{ м/с}$, осадки и другие искусственные источники влаги не влияли на условия эксперимента.

Собранные образцы были затем отправлены в научную лабораторию для анализа концентрации пылевых выбросов, реализуемых в ходе проведения исследуемых строительных процессов, и физико-химических свойств строительной пыли. Исследования включали оценки морфологического состава частиц, дисперсии (d_{50}), удельной площади поверхности (S_{ss} ,

$\text{см}^2/\text{г}$), плотности (ρ , кг/м^3), динамического угла естественного откоса (α_{SA} , градусы), адгезии (σ , Па), коэффициента абразивности K_{AB} , удельного электрического сопротивления пыли (ER , Ом $\times$ м), химического состава, гигроскопичности (φ_{DUST} , %) и смачиваемости пыли Wet (%).

На основании полученных результатов о характере пылевого загрязнения PM2.5 и PM10 от строительных работ была выполнена оценка экологических рисков негативного воздействия PM2.5 и PM10 городской территории, загрязняемой в результате строительной деятельности разработанной системой индикаторов, представленной на рис. 2.

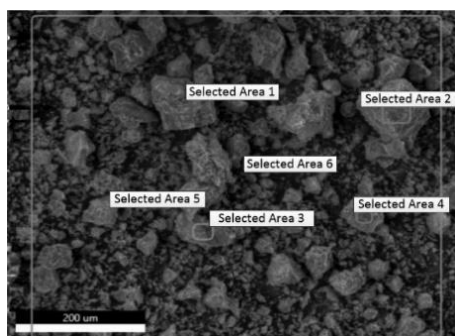
	Коэффициент геоаккумуляции I_{geo} – показатель оценки концентрации загрязнителя (химического элемента) C_i в образце и общей концентрации воздушной среды исследуемой территории C_{total} $I_{geo} = \log_2 \left[\frac{C_i}{1.5 \times C_{total}} \right]$ менее 0 – нет загрязнения 0-1 – незначительный 1-2 – умеренный 2-3 – умеренный или сильный 3-4 – сильный 4-5 – сильный или критичный более 5 – критичный
	Коэффициент загрязнения K_p – показатель отношения концентрации исследуемого химического элемента к общей концентрации данного элемента в воздухе исследуемой территории C_n $K_p = \frac{C_i}{C_n}$ менее 1 – низкий 1-3 – умеренный 3-6 – значительный более 6 – критичный
	Коэффициент экологического риска E_r дает оценку потенциальной экологической опасности загрязняющего вещества в определённой воздушной среде R $E_r = \frac{R}{K_p}$ менее 10 – низкий 10-20 – умеренный 20-40 – значительный 40-80 – высокий более 80 – очень высокий R: PM2.5=50, PM10=50
	Коэффициент экологической нагрузки PLI, который определяет степень изменения воздушной среды за счет суммарного негативного воздействия загрязнителей n $PLI = (K_{p1} \times K_{p2} \times \dots \times K_{pn})^{1/n}$ менее 0 – отсутствие 0-1 – допустимый более 1 – высокий
	Вероятность неблагоприятных последствий для окружающей среды городской территории RI $RI = \frac{n}{N}$ $< 0,1 = < 10\%$ – слабовероятно $0,1-0,4 = 10-40\%$ – маловероятно $0,4-0,6 = 40-60\%$ – вероятно $0,6-0,9 = 60-90\%$ – весьма вероятно $> 0,9 = > 90\%$ – возможно где n – число случаев превышения максимальной концентрации PM2.5 и PM10, N – общее число проб в период реализации строительного производства.

Рис. 2. Система оценки негативного воздействия PM2.5 и PM10 городской территории

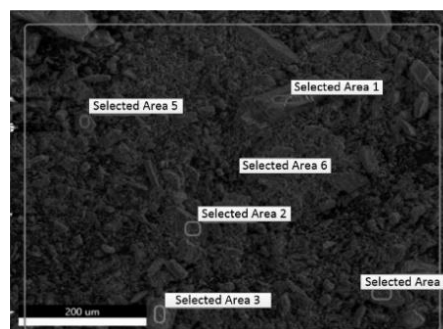
Применялись два основных вида показателей для анализа загрязнений PM2.5 и PM10: первый включает в себя коэффициенты, такие как I_{geo} , K_P и E_r , которые фокусируются на изучении PM2.5 и PM10, второй вид – комплексные показатели PLI и RI загрязнения территории, прилегающей к строительной площадке и его возможных последствий для здоровья.

Результаты исследования и их обсуждение

При выполнении строительных работ (снос наземных сооружений, разработка котлована, устройство фундамента) возникают различные типы пылевых частиц, которые можно классифицировать на 3 группы по размеру и физико-химическим свойствам (1 группа – 0,5–10 мкм, 2 группа – 10–50 мкм, 3 группа – 50–150 мкм).



1



2

Рис. 3. Изображения частиц пыли, полученные с помощью микроскопического сканирования: (1) цементная пыль; (2) гипсовая пыль

При морфологическом исследовании строительной пыли были выявлены три типа частиц, отличающихся формой и размерами. Некоторые частицы обладали плоскостной структурой, с преимущественно двумерными размерами, в то время как другие имели равномерное распределение размеров во всех направлениях, формируя как правильные, так и искажённые сферические или многогранные формы. В пыли также присутствуют элементы с волокнистой или пластинчатой структурой, что связано с их кристаллической природой. Отчетливо прослеживается, как от метода обработки строительного материала зависит форма частиц: они могут быть как острыми, так и с закругленными гранями – это определяется шлифовкой или измельчением соответственно.

При анализе химического состава строительной пыли, были выявлены различные

Исследования на микроскопическом уровне выявили, что частицы строительной пыли заметно отличаются по плотности, не склонны к скоплению. Эти частицы, обладающие темным оттенком и твердой поверхностью, напоминают по внешнему виду острые каменные осколки и отличаются блестящей поверхностью. Для исследования самых мелких из них, размером меньше 0,1 мкм, применялась электронная микроскопия, так как эти частицы активно участвуют в броуновском движении. В то время как более крупные, размером от 0,1 до 20 мкм, можно изучить с использованием стандартного микроскопа – эти частицы характеризуются медленным оседанием.

Частицы строительной пыли, как видно из рис. 3, обладают грубой и неоднородной структурой, что типично для измельченных твердых материалов. Формы частиц пыли весьма разнообразны.

оксидные соединения. Среди них присутствуют оксиды таких элементов, как натрий, калий, а также серные соединения в форме SO_2 и SO_3 . Основную часть составляют металлические оксиды, включая оксиды железа (Fe_2O_3), марганца (MnO), магния (MgO) и алюминия (Al_2O_3). Дополнительно, в пыли найдены фосфаты в форме P_2O_5 , кальциевые соединения в форме CaO .

В результате лабораторных анализов был разработан детальный атлас строительной пыли, который классифицирует частицы по размерам и помогает понимать их происхождение. В отношении различных типов пылевых загрязнений были разработаны спецификации, которые включают детализированные данные характеристики строительной пыли, представленные на рис. 4.

ЦЕМЕНТНАЯ ПЫЛЬ						
Цементный материал для раствора – цементная пыль. Проба отобрана на процессе бетонирования фундамента : $t=25^{\circ}\text{C}$, $C=76 \text{ мг/м}^3$, $V=3 \text{ см/сек}$, $W=60\%$.						
МОРФОЛОГИЯ ЧАСТИЦ ПЫЛИ						
В проходящем свете можно увидеть мелкие частицы, которые имеют серовато-белую окраску. Они достигают размеров до 40 мкм. Большинство из них – это частицы серого цвета с диаметром до 25 мкм. Общая масса пыли имеет темно-серый оттенок.						
ДИСПЕРСНЫЙ СОСТАВ ПЫЛИ						
$d, \text{мкм}$	0.5	1	2.5	5	10	
$g, \text{масс. \%}$	88	76	79	85	96	
$V, \text{см/сек}$	0.02	0.5	1	2	3	
$d_{50}=12 \text{ мкм}$, $\delta=2.45$, $S_{уд}=3545 \text{ см}^2/\text{г}$.						
МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПЫЛИ						
$\rho=2680 \text{ кг/м}^3$	$\rho_{н.у.}=972 \text{ кг/м}^3$	$\rho_{м.у.}=1083 \text{ кг/м}^3$	$k_{аб}=2.8 \times 10^{-11}$			
$\alpha_{лин}=39^0$	$\alpha_{ст}=52^0$	$\sigma=40 \text{ Па}$	$Wet=98\%$			
УДЕЛЬНОЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ ПЫЛИ ПРИ РАЗНЫХ ТЕМПЕРАТУРАХ						
$УЭС, \text{Ом}\cdot\text{м}$	1.5×10^{10}	6×10^{10}	4.3×10^{10}	3.4×10^{10}	2.1×10^{10}	$max \text{ УЭС}$
$t, ^{\circ}\text{C}$	50	100	150	200	250	6.1×10^{10}
						118
ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ПЫЛИ						
Компонент	CaO	MgO	P ₂ O ₅	SiO ₂	Al ₂ O ₃	SO ₃
B, масс. %	48.2	1.4	1	27.2	3.2	19
$pH=8$						
РАВНОВЕСНАЯ ВЛАЖНОСТЬ ПЫЛИ $\varphi_{п}$ ПРИ РАЗЛИЧНОЙ ВЛАЖНОСТИ ВОЗДУХА $\varphi_{в}$						
$\varphi_{п}, \%$	0.7	1	1.3	1.4	2.9	
$\varphi_{в}, \%$	20	40	60	80	95	

Рис. 4. Спецификация пылевого загрязнения, цементная пыль

С помощью программы УПРЗА «Эколог» 4.60.6, проведена оценка уровня воздействия пылевых выбросов от строительства метрополитена на качество воздуха в жилом районе г. Москва. Оценка учитывала как метеорологические условия, так и фоновую концентрацию в жилой зоне, которые помогают определить распространение загрязнителей PM_{2.5} и PM₁₀ в атмосфере. Исследуемая территория охватывала площадь 200 на 220 м, разделенную на сетку с ячейками по 20 м в каждую сторону. Уровень загрязнения был проверен на соответствие ПДК (предельно допустимых концентраций) посредством четырех контрольных точек, где проходили строительные работы в жилой зоне, представленные в табл. 1.

Результаты моделирования показали, что в течение анализируемого периода (май-август 2023 года) масса пылевых выбросов PM_{2.5} и PM₁₀ в указанных локациях достигнет 2,904385 т/год.

В табл. 2 представлены данные о максимально разовой концентрации PM_{2.5} и

PM₁₀ – C_i , мг/м³, которые были получены в период с мая по август 2023 года на городской территории в результате отбора проб.

В ходе строительных работ на городской территории было зафиксировано три периода значительного увеличения показателей максимально разовой концентрации PM₁₀, превышающих установленные нормы ПДК (PM₁₀ – 300 мг/м³) в 1.75 раза – 526.6 мг/м³. Эти пики превышения нормативного показателя пылевого загрязнения произошли в середине мая, июня и в конце июля и были связаны с различными этапами строительных работ: в мае проводились работы по сносу зданий, в июне – работы по разработке грунта, в июле – сварка арматуры для фундамента. Общий анализ показал, что в исследуемый период строительства среднее значение максимально разовых концентраций PM₁₀ превышал ПДК на 55 % (465 мг/м³) из-за активного движения транспорта, задействованного в погрузке и вывозе строительного мусора, грунта, а также доставке материалов на стройплощадку.

Таблица 1. Координаты расчетных точек

Код	Координаты, м		Высота, м	Тип точки
	X	Y		
1.	463.921	1568.975	6	на границе жилой зоны
2.	381.587	1726.937	6	на границе жилой зоны
3.	202.267	1516.832	6	на границе жилой зоны
4.	335.835	1404.159	6	на границе жилой зоны

Таблица 2. Данные измерения максимально разовой концентрации PM2.5 и PM10 в воздушной среде городской территории, прилегающей к строительной площадке в период проведения строительных работ

2023 г.							
C _i , мкг/м ³							
май		июнь		июль		август	
PM2.5	PM10	PM2.5	PM10	PM2.5	PM10	PM2.5	PM10
162.1	390.2	165.2	474.1	162.5	461.3	160.5	468.2
162.8	461.3	165.4	469.5	166.4	468.5	158.4	458.6
171.4	471.2	161.3	454.2	167.4	462.2	152.2	411.2
181.4	520.6	163.2	449.5	167.4	462.1	152.2	412.1
164.2	480.2	180.4	526.3	179.5	506.8	138.4	405.6
165.1	472.3	180.6	526.6	181.4	520.8	132.4	402.6
164.2	474.2	181.2	526.6	181.4	522.2	132.1	390.2
162.3	471.4	162.1	472.4	178.7	494.8	132.7	392.8

Среднее значение показателей максимально разовой концентрации PM2.5 за период наблюдений в целом не превышало ПДК (PM2.5 – 160 мкг/м³) – 163 мкг/м³. Однако в период интенсивной работы строительной техники, задействованной в разборке сооружений (май), разработки котлована (вторая половина июня) и сварки арматуры значения концентрации PM2.5 превысили ПДК на 13 % – 181.4 мкг/м³, подтверждающая негативное воздействие пылевого загрязнения на воздушную среду городской

территории. Динамику негативного воздействия PM2.5 и PM10 можно увидеть на рис. 5.

В табл. 3 представлены данные об оценке экологических рисков, возникающих в результате ухудшения качества воздуха в городском районе, где происходит активное строительство. Для данной территории индекс экологической нагрузки *PLI* достиг значения 2.48. Вероятность негативного воздействия на окружающую среду городской территории составляет $RI = 0,78 = 78\%$.

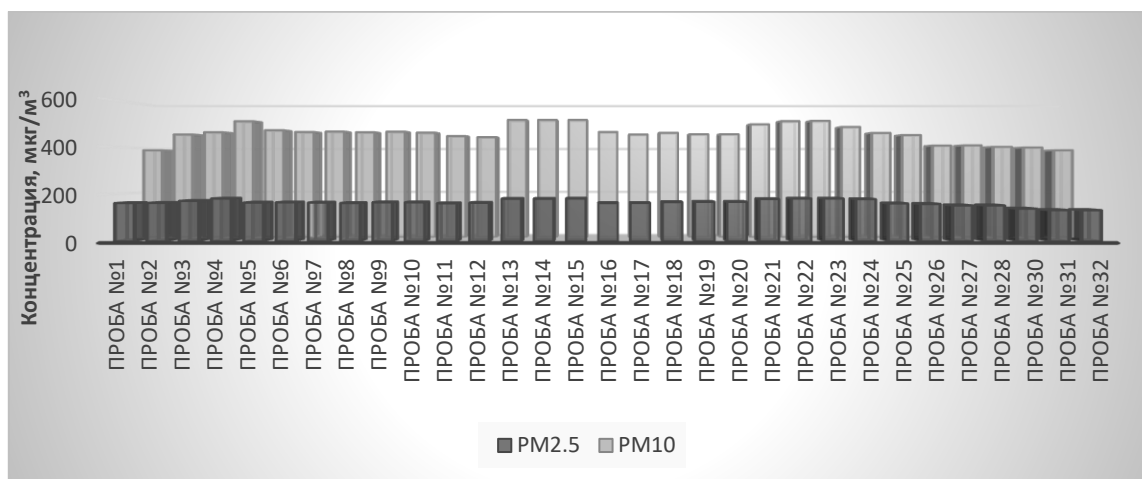


Рис. 5. Динамика негативного воздействия PM2.5 и PM10 на городскую территорию от строительства станционного комплекса «Новаторская» в г. Москва

Таблица 3. Результаты оценки экологических рисков

	<i>I_{geo}</i>			<i>K_p</i>			<i>E_r</i>			<i>PLI</i>			<i>RI</i>		
	Min	Max	Mean	Min	Max	Mean	Min	Max	Mean	Min	Max	Mean	Min	Max	Mean
PM 2.5	1	2	1.5	1	2	3	25	50	37.5						
PM10	2	5	3.5	2.2	4.2	3.2	11.9	22.7	17.3	1.5	2.48	1.99	0,42	0,78	0,6

По результатам оценки экологических рисков негативного воздействия пылевого загрязнения PM_{2.5} и PM₁₀ от строительной деятельности на городской территории, выявлено, что реализация строительных процессов приводит к резкому увеличению экологического риска на территории, где проводились измерения, с вероятностью 78 % (25 из 32 отобранных проб показывали превышение максимально разовой концентрации). Такие показатели отрицательно сказываются на местной экосистеме и здоровье жителей, создавая серьезные риски из-за воздействия вредных веществ. Ситуация требует немедленного принятия защитных мер для минимизации воздействия на окружающую среду и здоровье населения.

Выводы и заключение

Оценка негативного воздействия PM_{2.5} и PM₁₀ в городской среде от точечной

застройки подтвердила значительное превышение допустимых максимально разовых концентраций пыли PM₁₀, которые были выше нормы в 1.75 раза, достигая в пиковые моменты 526.6 мкг/м³. В процессе реализации работ по сносу зданий, разработки котлована и устройству фундамента наблюдалось превышение показателя максимально разовой концентрации PM_{2.5} до 181.4 мкг/м³, что указывает на высокий уровень загрязнения воздуха городской территории, прилегающей к строительной площадке. Эти данные подтверждают необходимость усиления экологического контроля в городских районах активного строительства, в том числе, ужесточение мер по контролю за чистотой воздуха и активное внедрение стратегий по минимизации воздействия мелкодисперсной пыли на здоровье населения.

Список литературы

1. Reducing Construction Dust Pollution by Planning Construction Site Layout / G. Tao, J. Feng, H. Feng [et al.]. *Buildings*, 2022, vol. 12, 531. DOI: 10.3390/buildings12050531.
2. Study on the Effects of Dust Particle Size and Respiratory Intensity on the Pattern of Respiratory Particle Deposition in Humans / G. Zhou, Z. Liu, W. Shao [et al.]. *Indoor Air*, 2024, vol. 1, 1. DOI: 10.1155/2024/5025616.
3. Mitigating Dust Pollution from Construction Activities: A Behavioural Control Perspective / M. Kaluarachchi, A. Waidyasekaran, R. Ram-eezdeen [et al.]. *Sustainability*, 2021, vol. 13, pp. 1–19. DOI: 10.3390/su13169005.
4. Empirical Analysis of Dust Health Impacts on Construction Workers Considering Work Types / L. Kumi, J. Jeong, J. Jeong [et al.]. *Buildings*, 2022, vol. 12, 1137. DOI: 10.3390/buildings12081137.
5. Cui Tianxin. Development of Dust Monitoring in Urban Construction Sites and Suggestions on Dust Control. *Journal of Innovation and Development*, 2023, vol. 2, pp. 18–21. DOI: 10.54097/jid.v2i2.5904.
6. Analyzed and Simulated Prediction of Emission Characteristics of Construction Dust Particles under Multiple Pollution Sources / Liu Wei, Huang Xiaohui, Chen Huapeng [et al.]. *Computational Intelligence and Neuroscience*, 2022, vol. 4, pp. 1–10. DOI: 10.1155/2022/7349001.
7. Modification of Hybrid Receptor Model for Atmospheric Fine Particles (PM_{2.5}) in 2020 Daejeon, Korea, Using an ACERWT Model / Han Sang-woo, Joo Hung-soo, Kim Kyoungchan [et al.]. *Atmosphere*, 2024, vol. 15, 477. DOI: 10.3390/atmos15040477.
8. Evaluation of Construction Dust Diffusion and Sedimentation Using Wind Tunnel

Experiment / Zhang Y., Tang W., Li H. [et al.]. *Toxics*, 2022, vol. 10, 412. DOI: 10.3390/toxics10080412.

9. Samaradiwakara D. S., Pitawala H.M.T.G.A. Extent of air pollution in Kandy area, Sri Lanka: Morphological, mineralogical and chemical characterization of dust. *Ceylon J. Sci.*, 2021, vol. 50, pp. 475–486. DOI: 10.4038/cjs.v50i4.7946.

10. Dust dispersion patterns during construction processes: A multi-process simulation study / Q. Luo, L. Huang, Y. Liu [et al.]. *Sustainability*, 2021, vol. 13, 8451. DOI: 10.1016/j.jobe.2023.107478.

11. Environmental Particulate Matter (PM) Exposure Assessment of Construction Activities Using Low-Cost PM Sensor and Latin Hypercube Technique / M. Khan, N. Khan, M. J. Skibniewski [et al.]. *Sustainability*, 2021, vol. 13, 7797. DOI: 10.3390/su13147797.

12. Karin A.-D., Clifford K., Hand J. Dust Under the Radar: Rethinking How to Evaluate the Impacts of Dust Events on Air Quality in the United States. *GeoHealth*, 2023, vol. 7, 1029. DOI: 10.1029/2023GH000953.

13. The simulation of mineral dust in the United Kingdom Earth System Model UKESM1 / W. Stephanie, S. Alistair, T. Yongming [et al.]. *Atmos. Chem. Phys.*, 2022, vol. 22, 14503. DOI: 10.5194/acp-22-14503-2022.

14. Manzhilevskaya S. Dust Pollution in Construction Sites in Point-Pattern Housing Development. *Buildings*, 2024, vol. 14, 2991. DOI: 10.3390/buildings14092991.

15. Azarov V. N., Batmanov V. P., Strelyaeva A. B. Aerodynamic characteristics of dust in the emissions into the atmosphere and working zone of construction enterprises. *International Review of Civil Engineering*, 2016, vol. 7, pp. 132–136. DOI: 10.15866/irece.v7i5.9869.

16. Исследование дисперсного состава пыли городской среды / В. Н. Азаров, А. А. Кузьмичев, Д. А. Николенко [и др.] // Вестник МГСУ. 2020. № 15. С. 432–442. DOI:10.22227/1997-0935.2020.3.432-442.

17. Azarov V. N., Trokhimchyk M. K., Sidelnikova O. E. Research of dust content in the earthworks working area. *Procedia Engineering*, 2016, vol. 150, pp. 2008–2012.

18. Стреляева А. Б., Калюжина Е. А. Экологическая безопасность при проведении земляных и строительно-отделочных работ // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2017. № 50 (69). С. 321–329.

19. Сумеркин Ю. А., Теличенко В. И. Оценка экологической безопасности придомовых территорий жилых районов // Промышленное и гражданское строительство. 2017. № 6. С. 75–79.

20. Efficiency of standards compliance for PM(10) and PM(2,5) / N. V. Menzelintseva, N. Y. Karapuzova, Y. S. Mikhailovskaya [et al.]. *International Review of Civil Engineering*, 2016, vol. 7, pp. 1–8.

21. Азаров В. Н., Кошкарев С. А. Повышение экологической безопасности стройиндустрии совершенствованием систем обеспыливания с использованием комплексного дисперсионного анализа пылевых выбросов // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2016. № 43 (62). С. 161–174.

22. Ilyichev V. A. Estimation of Indicators of Ecological Safety in Civil Engineering. *Procedia Engineering*, 2015, vol. 117, pp. 126–131.

23. Оценка экологической безопасности строительства на основе модели полного ресурсного цикла / В. А. Ильичев, В. И. Колчунов, Н. В. Бакаева [и др.] // Научный вестник Воронежского ГАСУ. Строительство и архитектура. 2016. № 4. С. 169–176.

24. Бакаева Н. В., Калайдо А. В. Обеспечение радиационно-экологической безопасности объектов строительства // Строительство и реконструкция. 2018. № 3. С. 39–45.

25. Ложкина О. В., Никитина Т. Г., Цветков В. А. Совершенствование инструментальных методов анализа опасных загрязнителей воздуха на примере определения аммиака // Проблемы управления рисками в техносфере. 2022. № 61. С. 97–107.

26. Богуславский Е. И. Оценка концентрации и дисперсного состава пыли в воздухе рабочих и обслуживаемых зон // Безопасность жизнедеятельности. 2005. № 2. С. 46–47.

27. Bakayeva N., Matyushin D., Chernyaeva I. Integrated security assessment engineering construction object. *E3S Web of Conferences: International Scientific Conference «Fundamental and Applied Scientific Research in the*

Development of Agriculture in the Far East» (AFE-2022), 2023, 02043.

References

1. Reducing Construction Dust Pollution by Planning Construction Site Layout / G. Tao, J. Feng, H. Feng [et al.]. *Buildings*, 2022, vol. 12, 531. DOI: 10.3390/buildings12050531.

2. Study on the Effects of Dust Particle Size and Respiratory Intensity on the Pattern of Respiratory Particle Deposition in Humans / G. Zhou, Z. Liu, W. Shao [et al.]. *Indoor Air*, 2024. vol. 1, 1. DOI: 10.1155/2024/5025616.

3. Mitigating Dust Pollution from Construction Activities: A Behavioural Control Perspective / M. Kaluarachchi, A. Waidyasekaran, R. Ram-eezdeen [et al.]. *Sustainability*, 2021, vol. 13, pp. 1–19. DOI:10.3390/su13169005.

4. Empirical Analysis of Dust Health Impacts on Construction Workers Considering Work Types / L. Kumi, J. Jeong, J. Jeong [et al.]. *Buildings*, 2022, vol. 12, 1137. DOI: 10.3390/buildings12081137.

5. Cui Tianxin. Development of Dust Monitoring in Urban Construction Sites and Suggestions on Dust Control. *Journal of Innovation and Development*, 2023, vol. 2, pp.18–21. DOI: 10.54097/jid.v2i2.5904.

6. Analyzed and Simulated Prediction of Emission Characteristics of Construction Dust Particles under Multiple Pollution Sources / Liu Wei, Huang Xiaohui, Chen Huapeng [et al.]. *Computational Intelligence and Neuroscience*, 2022, vol. 4, pp. 1–10. DOI: 10.1155/2022/7349001.

7. Modification of Hybrid Receptor Model for Atmospheric Fine Particles (PM_{2.5}) in 2020 Daejeon, Korea, Using an ACERWT Model / Han Sang-woo, Joo Hung-soo, Kim Kyoungchan [et al.]. *Atmosphere*, 2024, vol. 15, 477. DOI: 10.3390/atmos15040477.

8. Evaluation of Construction Dust Diffusion and Sedimentation Using Wind Tunnel Experiment / Zhang Y., Tang W., Li H. [et al.]. *Toxics*, 2022, vol. 10, 412. DOI: 10.3390/toxics10080412.

9. Samaradiwakara D. S., Pitawala H.M.T.G.A. Extent of air pollution in Kandy area, Sri Lanka: Morphological, mineralogical and chemical characterization of dust. *Ceylon J. Sci*, 2021, vol. 50, pp. 475–486. DOI: 10.4038/cjs. v50i4.7946.

10. Dust dispersion patterns during construction processes: A multi-process simulation study / Q. Luo, L. Huang, Y. Liu [et al.]. *Sustainability*, 2021, vol. 13, 8451. DOI: 10.1016/j.jobe.2023.107478.

11. Environmental Particulate Matter (PM) Exposure Assessment of Construction Activities Using Low-Cost PM Sensor and Latin Hypercube Technique / M. Khan, N. Khan, M. J. Skibniewski [et al.]. *Sustainability*, 2021, vol. 13, 7797. DOI: 10.3390/su13147797.

12. Karin A.-D., Clifford K., Hand J. Dust Under the Radar: Rethinking How to Evaluate the

Impacts of Dust Events on Air Quality in the United States. *GeoHealth*, 2023, vol. 7, 1029. DOI: 10.1029/2023GH000953.

13. The simulation of mineral dust in the United Kingdom Earth System Model UKESM1 / W. Stephanie, S. Alistair, T. Yongming [et al.]. *Atmos. Chem. Phys.*, 2022, vol. 22, 14503. DOI: 10.5194/acp-22-14503-2022.

14. Manzhilevskaya S. Dust Pollution in Construction Sites in Point-Pattern Housing Development. *Buildings*, 2024, vol. 14, 2991. DOI: 10.3390/buildings14092991.

15. Azarov V. N., Batmanov V. P., Strelyaeva A. B. Aerodynamic characteristics of dust in the emissions into the atmosphere and working zone of construction enterprises. *International Review of Civil Engineering*, 2016, vol. 7, pp. 132–136. DOI: 10.15866/irece.v7i5.9869.

16. Issledovanie dispersnogo sostava pyli gorodskoj sredy [The research of dust dispersed composition of urban environment] / V. N. Azarov, A. A. Kuzmichev, D. A. Nikolenko [et al.]. *Vestnik MGSU*, 2020, issue 15, pp. 432–442. DOI: 10.22227/1997-0935.2020.3.432-442.

17. Azarov V. N., Trokhimchik M. K., Sidelnikova O. E. Research of dust content in the earthworks working area. *Procedia Engineering*, 2016, vol. 150, pp. 2008–2012.

18. Strelyaeva A. B., Kalyuzhina E. A. Ekologicheskaya bezopasnost' pri provedenii zemlyanyh i stroitel'no-otdelochnykh rabot [Environmental Safety of Earthworks and Construction and Decoration Works]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arhitektura*, 2017, vol. 50, issue 69, pp. 321–329.

19. Sumerkin Yu. A., Telichenko V. I. Ocenka ekologicheskoy bezopasnosti pridomovykh territorij zhilykh rayonov [Assessment of ecological safety of territories adjoining residential areas]. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo*, 2017, issue 6, pp. 75–79.

20. Efficiency of standards compliance for PM(10) and PM(2,5) / N. V. Menzelintseva, N. Y. Karapuzova, Y. S. Mikhailovskaya [et al.]. *International Review of Civil Engineering*, 2016, vol. 7, pp. 1–8.

21. Azarov V. N., Koshkarev S. A. Povyshenie ekologicheskoy bezopasnosti strojindustrii

sovershenstvovaniem sistem obespylivaniya s ispol'zovaniem kompleksnogo dispersionnogo analiza pylevykh vybrosov [Increase of environmental safety of construction industry by improvement of decreasing dust systems using integrated analysis of variance dust emissions]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arhitektura*, 2016, vol. 43, issue 62, pp. 161–174.

22. Ilyichev V. A. Estimation of Indicators of Ecological Safety in Civil Engineering. *Procedia Engineering*, 2015, vol. 117, pp. 126–131.

23. Ocenka ekologicheskoy bezopasnosti stroitel'stva na osnove modeli polnogo resursnogo cikla [Assessment of environmental safety of construction based on a model of a complete resource cycle] / V. A. Ilyichev, V. I. Kolchunov, N. V. Bakaeva [et al.]. *Nauchnyj vestnik Voronezhskogo GASU. Stroitel'stvo i arhitektura*, 2016, issue 4, pp. 169–176.

24. Bakaeva N. V., Kalaydo A. V. Obespechenie radiacionno-ekologicheskoy bezopasnosti ob'ektov stroitel'stva [Ensuring the radiation-ecological safety of constructions]. *Stroitel'stvo i rekonstrukciya*, 2018, issue 3, pp. 39–45.

25. Lozhkina O. V., Nikitina T. G., Tsvetkov V. A. Sovershenstvovanie instrumental'nykh metodov analiza opasnykh zagryaznitelej vozduha na primere opredeleniya ammiaka [Improvement of instrumental methods for the analysis of hazardous air pollutants on the example of ammonia determination]. *Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere*, 2022, vol. 1, issue 61, pp. 97–107.

26. Boguslavsky E. I. Ocenka koncentracii i dispersnogo sostava pyli v vozduhe rabochnykh i obsluzhivaemykh zon [Assessment of the concentration and dispersed composition of dust in the air of working and serviced zones]. *Bezopasnost' zhiznedeyatel'nosti*, 2005, vol. 2, pp. 46–47.

27. Bakaeva N., Matyushin D., Chernyaeva I. Integrated security assessment engineering construction object. *E3S Web of Conferences: International Scientific Conference «Fundamental and Applied Scientific Research in the Development of Agriculture in the Far East» (AFE-2022)*, 2023, 02043.

Манжильевская Светлана Евгеньевна

Донской государственный технический университет,

Российская Федерация, г. Ростов-на-Дону

кандидат технических наук, доцент

E-mail: smanzhilevskaya@yandex.ru

Manzhilevskaya Svetlana Evgenievna

Federal State Budget Educational Establishment of Higher Education «Don State Technical University»,

Russian Federation, Rostov-on-Don

candidate of technical sciences, associate professor

E-mail: smanzhilevskaya@yandex.ru