

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

Научная статья

УДК 504.3.054; DOI: 10.61260/1998-8990-2025-2-163-176

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ РИСКИ ПРИ ТОЧЕЧНОЙ ЗАСТРОЙКЕ: АНАЛИЗ ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРЫ ГОРОДСКОЙ ТЕРРИТОРИИ РМ2,5 И РМ10

✉ Манжилевская Светлана Евгеньевна.

Донской государственный технический университет, г. Ростов-на-Дону, Россия.

Бакин Никита Сергеевич;

Азаров Валерий Николаевич.

Волгоградский государственный технический университет, г. Волгоград, Россия

✉ smanzhilevskaya@yandex.ru

Аннотация. Строительный бум в мегаполисах создает серьезные экологические риски для жителей городов. Особенно опасны мелкодисперсные частицы пыли РМ0,5–РМ10, которые образуются в процессе строительных работ и способны нанести существенный вред здоровью горожан. Для обеспечения безопасности городской среды критически важно внедрять системы мониторинга пылевых выбросов и проводить регулярные научные исследования. Это должно стать неотъемлемой частью современного градостроительства, так как загрязнение воздуха в крупных городских агломерациях достигло угрожающих масштабов.

Результаты экологического мониторинга строительных участков играют ключевую роль при разработке действенных проектных решений, особенно в условиях интенсивной точечной застройки современных городов. Неэффективность системы управления рисками на строительных объектах нередко становится причиной аварийных ситуаций и негативного воздействия на окружающую среду. При этом потенциальные экологические риски могут кардинально отличаться для разных строительных площадок в зависимости от особенностей территории, где располагается строительная площадка. Особую озабоченность вызывает точечная застройка, где концентрация потенциальных экологических угроз достигает высокого уровня. С использованием разнообразных показателей загрязненности и воздействия на здоровье населения проведена комплексная оценка экологической ситуации в регионе. Полученные результаты не только выявили ключевые экологические проблемы территории, но и создали фундамент для разработки эффективных мер по снижению загрязнения воздуха в городе. Исследование пылевого загрязнения городской территории вблизи точечного строительства выявило превышение ПДК РМ10 более чем в два раза: максимально разовая концентрация РМ10 достигала 672 мкг/м³. Максимально разовая концентрация РМ2,5 составила 182 мкг/м³ при реализации демонтажных, земляных и сварочных работ. Такое распределение указывает на локальное пылевое загрязнение как основной источник.

Ключевые слова: точечная застройка, пылевые выбросы в строительстве, экологическая безопасность городских территорий, мелкодисперсная пыль РМ2,5 и РМ10, экологические риски в строительстве

Для цитирования: Манжилевская С.Е., Бакин Н.С., Азаров В.Н. Экологические риски при точечной застройке: анализ загрязнения атмосферы городской территории РМ2,5 и РМ10 // Проблемы управления рисками в техносфере. 2025. № 2 (74). С. 163–176. DOI: 10.61260/1998-8990-2025-2-163-176

Scientific article

ENVIRONMENTAL RISKS IN POINT-PATTERN HOUSING DEVELOPMENT: ANALYSIS OF ATMOSPHERIC POLLUTION IN THE URBAN AREA OF PM_{2,5} AND PM₁₀

✉ Manzhilevskaya Svetlana E.

Don state technical university, Rostov-on-Don, Russia.

Bakin Nikita S.;

Azarov Valeriy N.

Volgograd state technical university, Volgograd, Russia

✉ smanzhilevskaya@yandex.ru

Abstract. The construction boom in megacities creates serious environmental risks for urban residents. Particularly dangerous are fine dust particles PM_{0,5}–PM₁₀, which are formed during construction work and can cause significant harm to the health of citizens. To ensure the safety of the urban environment, it is critically important to implement dust emission monitoring systems and conduct regular scientific research. This should become an integral part of modern urban planning, as air pollution in large urban agglomerations has reached an alarming scale. The results of environmental monitoring of construction sites play a key role in the development of effective design solutions, especially in conditions of intensive point development of modern cities. The inefficiency of the risk management system at construction sites often causes accidents and negative impact on the environment. At the same time, potential environmental risks may differ dramatically for different construction sites, depending on their characteristics of the territory where the construction site is located. Particular concern is caused by point-based development, where the concentration of potential environmental threats reaches a high level. Applying various indicators of pollution and impact on public health, a comprehensive assessment of the environmental situation in the region was carried out. The results obtained not only revealed the key environmental problems of the territory, but also laid the foundation for the development of effective measures to reduce air pollution in the city. A study of dust pollution in urban areas near point construction revealed an excess of MPC PM₁₀ by more than 2 times: the maximum single concentration of PM₁₀ reached 672 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. The maximum single concentration of PM_{2,5} was 182 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ during dismantling, excavation and welding operations. This distribution indicates local dust pollution as the main source.

Keywords: point-pattern housing development, dust emissions in construction, environmental safety of urban areas, fine dust PM_{2,5} and PM₁₀, ecological risks in construction

For citation: Manzhilevskaya S.E., Bakin N.S., Azarov V.N. Environmental risks in point-pattern housing development: analysis of atmospheric pollution in the urban area of PM_{2,5} and PM₁₀ // Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere = Problems of risk management in the technosphere. 2025. № 2 (74). P. 163–176. DOI: 10.61260/1998-8990-2025-2-163-176.

Введение

В воздушной среде наблюдаются значительные колебания содержания пылевых частиц, которые варьируются как в пространстве, так и во времени [1, 2]. Формирование твердых частиц (ТЧ) происходит несколькими путями: в связи с деятельностью человека, посредством естественных процессов в природе, а также вторичных химических трансформаций в воздушных массах [3, 4].

Строительная деятельность создает серьезную угрозу для качества воздуха, особенно в городских районах. При проведении различных строительных операций – от земляных работ до замешивания растворов – в воздух попадают мельчайшие пылевые частицы размером PM_{2,5} и PM₁₀. Негативные последствия такого загрязнения ощущают не только

строители, но и обычные горожане, проживающие рядом со стройплощадками. Особую тревогу вызывают процессы бетонирования, кладки кирпича и перевозки стройматериалов и ряд других процессов, которые являются одними из основных источников мелкодисперсной пыли в городской среде [5].

В городской среде наблюдаются значительные выделения аэрозолей и пылевых частиц, происходящие за короткие временные промежутки из различных источников [6, 7]. Кроме того, что они могут сами создавать случаи превышения максимально разовых концентраций, при движении через городские территории эти частицы активно взаимодействуют с различными атмосферными компонентами и загрязнителями, что приводит к трансформации их химического состава и зачастую ухудшения экологической обстановки воздушной среды [8–10]. Строительное производство в городах является одним из таких источников, число которых с каждым днем имеет тенденцию кратно увеличиваться. Для обеспечения безопасности городской среды критически важно внедрять системы мониторинга пылевых выбросов и проводить регулярные научные исследования [11–13]. Это должно стать неотъемлемой частью современного градостроительства, так как загрязнение воздуха в крупных городских агломерациях достигло угрожающих масштабов.

Обзор научных исследований о пылевом загрязнении в строительстве позволил выявить две основные категории прогностических моделей атмосферного загрязнения в условиях точечной застройки: те, что ориентированы на краткосрочную перспективу, и те, что рассчитаны на долгосрочный период. Краткосрочный прогноз дает оценку ожидаемого воздействия на окружающую среду строительного производства в жилой зоне и возможность предупредить и предотвратить негативное воздействие на окружающую среду, долгосрочный прогноз позволяет на перспективу подтвердить эффективность принятых природоохранных решений по снижению пылевого загрязнения городских территорий [14–17].

Пример для обоих видов прогнозирования – методология МРР–2017 «Методы расчетов рассеивания выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферном воздухе» (методология МРР–2017) [18]. Данная методология включает: учет воздействия источников с высокой температурой; возможность расчетов для эмиссий со скоростью выше скорости звука; изменения в определении дисперсии загрязняющих веществ; учет влияния гравитации на оседание частиц; корректировку расчетов с учетом местности; определения концентраций загрязняющих веществ по высоте; введены понятия «долгосрочные средние уровни загрязнения»; прогнозирование загрязнения окружающей среды в городе и сельской местности.

На базе методологии МРР–2017 созданы программные комплексы, позволяющие моделировать прогноз пылевого загрязнения, на основе которого возможна оценка экологических рисков, связанных с образованием пыли от нестационарных источников в атмосфере городской территории. Программный комплекс «Эколог» от компании «Интеграл» позволяет эффективно оценивать распространение загрязнителей по официально утвержденным методикам [19]. Российская система «Призма-регион», соответствующая национальным нормативам, предоставляет достоверную информацию о качестве воздушной среды. Благодаря своей адаптивности и высокой точности измерений, это программное обеспечение становится надежным инструментом для мониторинга атмосферного загрязнения [20]. Для мониторинга качества воздуха и содержания вредных веществ в атмосфере применяется система «Гарант-Универсал». Данное программное обеспечение способствует совершенствованию экологического контроля, что в конечном итоге повышает уровень экологической безопасности исследуемой территории. Система «Гарант-Универсал» определяет концентрации вредных веществ в воздушной среде, уровни химических и радиоактивных загрязнителей в соответствии с методологией МРР–2017. Эта система дает возможность сформировать объективную аналитическую базу атмосферного загрязнения конкретной территории, необходимую для разработки эффективных стратегий по оздоровлению воздушной среды. Программа оценивает потенциальные риски для здоровья населения, связанные с загрязнением воздуха [21].

Несмотря на широкий спектр инструментов прогнозирования пылевого загрязнения, необходимо разработать комплексную систему экологической оценки для городских территорий, подверженных воздействию пылевых выбросов, выделяемых от одного из основных источников в черте города – строительной площадки.

Цель данного исследования – комплексный анализ загрязнения воздуха городской территории от точечного строительства. В частности, в г. Ростове-на-Дону проведена оценка экологических рисков и потенциального влияния на здоровье жителей присутствие пылевого загрязнения мелкодисперсными частицами PM_{2,5} и PM₁₀ от строительных работ. Особое внимание уделяется анализу химического состава этих частиц и их воздействию на качество атмосферного воздуха в жилых зонах города, где располагается строительная площадка.

Методы исследования

В западной части г. Ростова-на-Дону, где располагается комплекс 21-этажных жилых зданий, было организовано исследование атмосферного воздуха на предмет пылевого загрязнения. Местом для проведения работ была выбрана стройплощадка точечной застройки по адресу: Магнитогорская ул., д. 2 (рис. 1). Для отбора проб частиц PM_{2,5} и PM₁₀ применялось высокоточное оборудование российского производства – электрический респиратор PU-3Е/12. Устройство было укомплектовано специальными фильтрами из перхлорвиниловых волокон АФА площадью 10 см².



Рис. 1. Место проведения исследования

В период пылевыделений при проведении демонтажных, подготовительных и строительных работ нулевого цикла по возведению многоквартирного жилого дома с марта по август 2022 г. осуществлялся регулярный отбор проб с частотой два раза в неделю по 120 мин на границе строительной площадки и жилой зоны. Транспортировка образцов в лабораторию осуществлялась в специальных бумажных конвертах, предварительно фильтры тщательно упаковывались в алюминиевую фольгу. В лаборатории производилась процедура взвешивания полученных образцов, после чего их помещали на хранение в эксикатор при температуре -20 °C до момента проведения анализа.

На протяжении всего периода наблюдения метеоусловия варьировались в следующем диапазоне: скорость ветра 3–7 м/с, температура воздуха +12–25 °C, влажность 30–60 %. Достоверность измерений обеспечена программой WIN-SFV32 v1.0, интегрированной в электронный респиратор, которая выполняла калибровку и проверку измерений.

Образцы пыли, собранные на фильтре, обрабатывали смесью кислот (HCl и HNO₃ в пропорции 3:1), добавляя 10 мл раствора, и выдерживали сутки при температуре помещения. Массовую концентрацию определяли гравиметрическим методом: из массы фильтра после отбора вычитали исходную массу чистого фильтра и нормировали на объем прокачанного воздуха. Погрешность аналитических измерений составила от 0,5 до 1,6 %.

При анализе выбросов пыли от исследуемого источника ключевыми критериями являлись:

– эффективность проведенных операций, а именно реальный объем исследуемого загрязняющего вещества или продолжительность каждой операции по отбору проб в течение определенного времени, учитывая переменчивость метеорологических условий;

– процент содержания пылевых частиц размером до 200 мкм в исходном материале, который определяется путем промывания и просеивания средней выборки.

Параметры и функции, описывающие процесс пылевыделения, включали в себя, например, интегральные функции распределения массы частиц по эквивалентным диаметрам – процентное содержание мелкодисперсной пыли размером до 10 мкм, на основании которых по общей концентрации пыли могли определяться концентрации PM_{2,5} и PM₁₀. Важными параметрами также являлся размер частиц пыли, образующихся в процессе таких операций, как демонтажные, подготовительные, земляные, буровые, сварочные, битумные работы. Влажность сыпучих материалов, особенно их пылевидных и мелкозернистых компонентов с размером 1 мм или меньше, также оказывала значительное влияние.

В процессе анализа и оценки воздействия на городскую территорию пылевых выбросов от точечной застройки рассматривались следующие показатели:

– интенсивность ветра в зоне исследования на протяжении анализируемого интервала времени;

– высота, на которую поднимаются пылевые выбросы от строительных отходов в процессе демонтажных работ и сыпучих материалов при их транспортировке;

– разновидности используемого оборудования для манипуляций с сыпучими грузами, такие как экскаваторы, грейферы, бульдозеры и др.

Для корректировки уровня пылевых выбросов в воздухе эти факторы учитываются как группа коэффициентов.

В рамках определения уровня выбросов загрязняющих веществ в атмосферу во время операций погрузки и разгрузки строительных отходов в результате демонтажных работ, в условиях стационарного хранения сыпучих материалов, реализации строительных процессов выполнялся расчет, базирующийся на использовании специфических коэффициентов коррекции и удельных значений эмиссии пыли, принимая во внимание характеристики самого материала и воздействие внешних условий, способствующих пылевым выбросам, образующихся в зависимости от конкретных условий реализации изучаемых строительных процессов.

Одними из главных факторов, способствующих образованию пыли, являлись строительные операции, связанные с перемещением сыпучих материалов (разработка грунта, обратная засыпка и утрамбовка грунта), работы по демонтажу и очистке участка под строительное производство, загрузка строительных отходов в открытые контейнеры. Эти процессы значительно увеличивают объемы пыли в воздухе.

Применяя программу УПРЗА «Эколог» версии 4.60.6, была выполнена оценка влияния выбросов от строительного производства точечной застройки, реализуемого в жилой зоне г. Ростова-на-Дону, на качество атмосферного воздуха. В процессе анализа были учтены как метеорологические условия, так и коэффициенты, важные для понимания, как распространяются загрязняющие вещества в воздухе этой территории. Для расчета уровня загрязнения воздуха была выбрана территория размером 320 м в ширину и 420 м в длину с разбивкой на сетку из ячеек размерами 20×20 м. Проверка соответствия уровней загрязнения базировалась на четырех контрольных точках на границах жилой зоны в ЖК «Екатерининский», где располагается строительная площадка, согласно табл. 1.

Таблица 1

Координаты расчетных точек

Код	Координаты, м		Высота, м	Тип точки
	X	Y		
1	47.19483	39.61902	2	на границе жилой зоны
2	47.19326	39.6238	2	на границе жилой зоны
3	47.19591	39.62465	2	на границе жилой зоны
4	47.19662	39.62167	2	на границе жилой зоны

Результаты расчетов показали, что максимальные уровни загрязняющих веществ в этих точках в период исследования составили – 3,204409 т/год.

Анализ распространения загрязнителей в атмосфере был проведен с учетом одновременной активности всех источников загрязнения, что рассматривается как сценарий с наибольшим уровнем загрязнения воздуха. В табл. 2 представлены виды пылевых выбросов, наблюдавшихся в период исследования.

Таблица 2

Виды пылевых выбросов в период производства строительных работ

№ п/п	Наименование загрязняющего вещества	Наименование источника
1	Пыль неорганическая, содержащая двуокись кремния более 70 %	демонтажные работы на участке застройки
2	Пыль неорганическая, содержащая двуокись кремния до 70 % (шамот, цемент, пыль цементного производства – глина, глинистый сланец, доменный шлак, песок, клинкер, зола кремнезем и др.)	– демонтажные работы на участке застройки; – разработка грунта; – обратная засыпка; – устройство фундаментной плиты
3	Пыль неорганическая, содержащая двуокись кремния менее 20 % (доломит, пыль цементного производства – известняк, мел, огарки, боксит)	– демонтажные работы на участке застройки; – очистка участка
4	Пыль (неорганическая) гипсового вяжущего из фосфогипса с цементом	– земляные работы
5	Пыль абразивная	– буровые работы; – сварочные работы; – битумные работы
6	Пыль полипропилена	– сварка полиэтиленовых труб
7	Пыль асбестосодержащая	– демонтажные работы на участке застройки; – переработка инертных материалов
8	Пыль древесная	– демонтажные работы на участке застройки; – устройство ограждения строительной площадки; – устройство временных зданий и сооружений
9	Пыль сульфонолов НП-1, НП-3	– демонтажные работы на участке застройки
10	Пыль фенопластов резольного типа (Э2-330-02; У2-301-07)	– демонтажные работы на участке застройки; – покрасочные работы; – битумные работы
11	Пыль полизифирной ненасыщенной смолы ПН-12	– битумные работы
12	Пыль слюды	– земляные работы; – покрасочные работы
13	Пыль ферросплавов (железо – 51 %, кремний – 47 %)	– сварочные работы
14	Пыль н-парафинов, церезинов	– демонтажные работы на участке застройки
15	Пыль полистирола	– устройство фундаментной плиты
16	Пыль полисульфонов	– герметизация стыков
17	Пыль углеродных волокнистых материалов на основе гидратцеллюлозных волокон	– демонтажные работы на участке застройки
18	Пыль углеродных волокнистых материалов на основе полиакрилонитрильных волокон	– демонтажные работы на участке застройки
19	Пыль асбестосодержащая (с содержанием асбеста от 20 %)	– демонтажные работы на участке застройки

Анализ химического состава взятых образцов проб с прилегающей городской территории к строительной площадке проводили на растровом двухлучевом электронном микроскопе Versa 3D от компании FEI, США. Результаты представлены в табл. 3.

Таблица 3

Химический состав строительной пыли

№ п/п	Наименование вещества	Наименование источника
1	Алюминия оксид (Al_2O_3)	– демонтажные работы на участке застройки
2	Висмута оксид (Bi_2O_3)	– устройство фундамента
3	Сульфат железа ($Fe_2(SO_4)_3$)	– устройство ограждения строительной площадки; – устройство временных зданий
4	Оксиды железа (II, III) (FeO , Fe_2O_3)	– демонтажные работы на участке застройки; – сварочные работы для армокаркаса фундаментной плиты
5	Карбонат калия (K_2CO_3)	– устройство фундамента
6	Кальция оксид (CaO)	– устройство фундамента
7	Карбид кальция (CaC_2)	– сварочные работы для армокаркаса фундаментной плиты
8	Хлорид лития ($LiCl$)	– сварочные работы для армокаркаса фундаментной плиты
9	Магния оксид (MgO)	– устройство фундамента
10	Дихлорат гидрат магния ($Cl_2MgO_6 \cdot H_2O$)	– устройство фундамента
11	Сульфат меди (II) ($CuSO_4$)	– устройство временных зданий
12	Меди оксид (II) (CuO)	– демонтажные работы на участке застройки
13	Свинец (Pb)	– разгрузка материалов, погрузка строительных отходов
14	Углерод (C) (Пигмент черный)	– устройство фундамента; – битумные работы
15	Серы диоксид (SO_2)	– земляные работы; – устройство фундамента; – устройство временных дорог; – устройство инженерных коммуникаций; – разгрузка материалов, погрузка строительных отходов
16	Фосфора оксид (V) (P_2O_5)	– разгрузка материалов, погрузка строительных отходов
17	Азота диоксид (NO_2)	– земляные работы; – сварочные работы для армокаркаса фундаментной плиты; – разгрузка материалов, погрузка строительных отходов
18	Углерода оксид (CO)	– разгрузка материалов, погрузка строительных отходов
19	Диоксид марганца (MnO_2)	– устройство фундамента; – битумные работы; – разгрузка материалов, погрузка строительных отходов

Далее, согласно полученным результатам по разработанной системе показателей была проведена оценка экологических рисков территории, которая подвержена загрязнению от объекта точечного строительства:

1. Коэффициент геоаккумуляции I_{geo} – показатель оценки концентрации загрязнителя (химического элемента) в образце и общей концентрации воздушной среды исследуемой территории C_{total} : менее 0 – нет загрязнения; при 0–1 – незначительный; при 1–2 – умеренный; при 2–3 – умеренный или сильный; при 3–4 – сильный; при 4–5 – сильный или критичный; более 5 – критичный [22].

$$I_{geo} = \log_2 \left[\frac{C_i}{1.5 \times C_{total}} \right]. \quad (1)$$

2. Коэффициент загрязнения K_P – показатель отношения концентрации исследуемого химического элемента к общей концентрации данного элемента в воздухе исследуемой территории C_n : менее 1 – низкий; при 1–3 – умеренный; при 3–6 – значительный; более 6 – критичный [23].

$$K_P = \frac{C_i}{C_n}. \quad (2)$$

3. Коэффициент экологического риска E_r дает оценку потенциальной экологической опасности загрязняющего вещества в определенной воздушной среде: менее 10 – низкая; при 10–20 – умеренная; при 20–40 – значительная; при 40–80 – высокая; более 80 – очень высокая [24].

$$E_r = \frac{R}{K_P}, \quad (3)$$

где R – коэффициент токсичности химического элемента ($PM2,5=50$, $PM10=50$) [25].

4. Коэффициент экологической нагрузки PLI , который определяет степень изменения воздушной среды за счет суммарного негативного воздействия загрязнителей: менее 0 – отсутствие; при 0–1 – допустимый; более 1 – высокий [26].

$$PLI = (K_{P1} \times K_{P2} \times \dots \times K_{Pn})^{1/n}, \quad (4)$$

где n – количество исследуемых химических элементов.

5. Комплексный показатель экологического риска RI определяется:

$$RI = \sum_{i=1}^n E_r. \quad (5)$$

Значения уровня RI для исследуемой территории: менее 150 – низкий; при 150–300 – приемлемый; при 300–600 – значительный; более 600 – очень высокий [27].

В то время как комплексные коэффициенты PLI и RI дают общую картину загрязнения, потенциальные угрозы здоровью, показатели $Igeo$, K_P и E_r характеризуют конкретный химический элемент. Таким образом, существуют два типа показателей: узконаправленные для оценки отдельных элементов и комплексные для оценки совокупного воздействия загрязнителей.

Результаты исследования и их обсуждение

В табл. 4 представлены данные о концентрации пылевых частиц $PM2,5$ и $PM10$, зафиксированные с марта по август 2022 г. на исследуемой городской территории вблизи строительной площадки.

Таблица 4

**Примеры максимально разовой концентрации PM2,5 и PM10
в воздухе жилой зоны, прилегающей к строительной площадке**

$C_i, \text{ мкг}/\text{м}^3$								
	PM2,5	PM10		PM2,5	PM10		PM2,5	PM10
Март	171,1	490,2	Апрель	133,2	454,2	Май	129,7	456,2
	180,7	672,6		156,4	469,5		143,6	487,6
	182,2	672,6		162,3	504,2		131,2	456,2
	131,9	540,5		163,2	609,1		131,9	478,5
	166,1	498,3		180,7	616,1		131,8	472,6
	140,2	502,9		180,6	610,6		141,1	458,4
	145,2	524,3		182,2	672,6		146,2	521,3
	152,5	491,2		142,1	562,4		150,5	487,4
	PM2,5	PM10		PM2,5	PM10		PM2,5	PM10
Июнь	131,2	456,2	Июль	152,5	491,4	Август	150,5	488,4
	131,9	469,5		156,4	508,6		158,4	508,6
	154,7	504,2		162,3	612,1		182,2	611,1
	131,2	454,2		163,2	612,1		182,2	612,1
	133,9	469,5		159,4	608,6		128,4	605,6
	154,7	504,2		180,7	670,6		122,8	652,6
	140,2	504,9		171,1	592,2		172,1	590,2
	145,2	521,3		178,7	494,8		179,7	492,8

Анализ данных выявил, что максимально разовая концентрация PM10 вблизи строительной площадки в жилой зоне за весь период проведения строительных работ с пылевыделениями превышала величину ПДК (предельно допустимых концентраций PM10 – 300 $\text{мкг}/\text{м}^3$) в среднем на 60–74 % за счет систематического движения транспорта, осуществляющего погрузку/разгрузку грунта, вывозимого для рекультивации, и материалов, завозимых на строительную площадку. В марте, апреле, июле и августе наблюдалась четыре пика загрязнения твердыми частицами, когда концентрация PM10 превышала 2ПДК, связанных с реализацией демонтажных работ (март), работ по разработке грунта и дальнейшего его уплотнения в котловане (апрель), выполнение работ по сварке армокаркаса для фундаментной плиты (июль) и обратной засыпке и уплотнению грунта по окончанию работ нулевого цикла (август). Содержание PM10 в воздушной среде жилой зоны, прилегающей к строительной площадке, демонстрировало значительные колебания: максимально разовая концентрация – 672 $\text{мкг}/\text{м}^3$ за рабочую смену была отмечена в конце апреля и июля, в начале апреля, мая, июня – 456 $\text{мкг}/\text{м}^3$, при этом среднее значение максимально разовой концентрации PM10 за смену в период наблюдения составило 529 $\text{мкг}/\text{м}^3$, 1,76 ПДК во время проведения земляных работ.

Анализ показателей пылевого загрязнения выявил значительное превышение допустимых значений. Концентрация крупных твердых частиц PM10 достигала опасных значений, представляя угрозу для здоровья жителей территории, прилегающей к зоне проведения работ. Максимально разовая концентрация PM2,5 за смену при демонтажных, земляных и сварочных работах также превысила значения ПДК (PM2,5 – 160 $\text{мкг}/\text{м}^3$) – до небезопасных уровней 182 $\text{мкг}/\text{м}^3$, средние значения в период наблюдения всех строительных процессов – 151 $\text{мкг}/\text{м}^3$. Это вызывает особое беспокойство, поскольку такое загрязнение может провоцировать обострение астматических состояний и негативно влиять на сердечно-сосудистую систему [28].

Динамика изменения концентрации мелкодисперсных частиц PM2,5 и PM10 представлена на рис. 2.

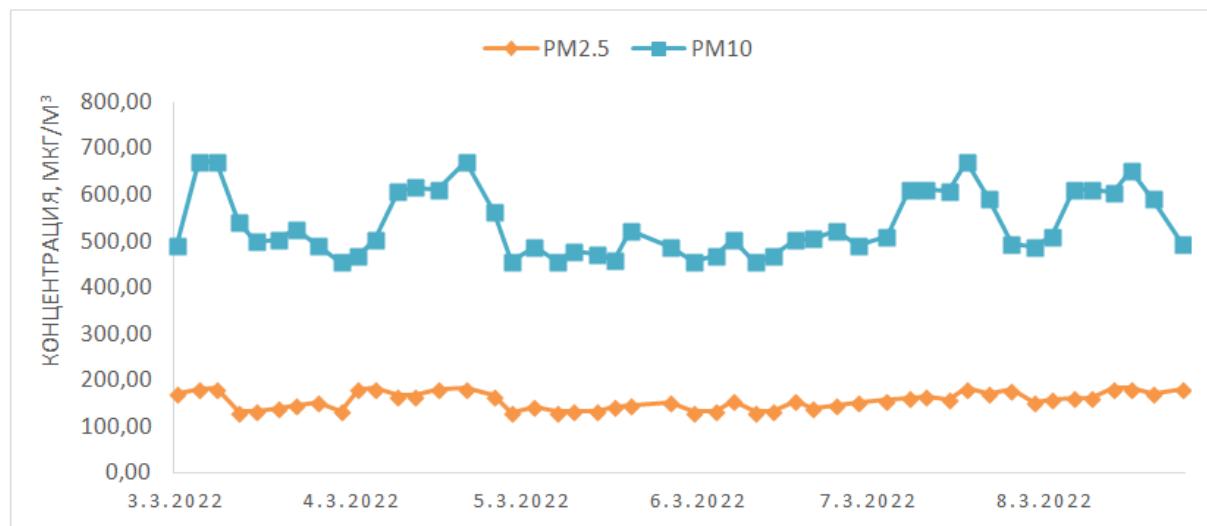


Рис. 2. Динамика изменения максимально разовой концентрации PM2,5 и PM10 в воздухе жилой зоны, прилегающей к строительной площадке в период исследования

Результаты экологической оценки рисков, связанных с ухудшением качества воздушной среды в жилой зоне, где развернуто точечное строительство, представлены в табл. 5. При этом коэффициент экологической нагрузки PLI для исследуемой территории составил 9.

Таблица 5

Результаты оценки экологических рисков территории точечной застройки

	I_{geo}			K_P			E_r		
	min	max	mean	min	max	mean	min	max	mean
PM2,5	1	3	2	2,9	4,3	3,6	11,62	17,24	14,43
PM10	1	3	2	3,9	5,2	5,5	9,61	12,82	11,21

Полученные показатели демонстрируют серьезное превышение допустимых норм загрязнения в ряде проб, а именно при демонтажных работах, разработке и обратной засыпке грунта, сварки армокаркаса для фундаментной плиты. Максимальное значение комплексного показателя экологического риска RI исследуемой территории составило 688. Такой уровень загрязнения создает существенную угрозу для всей локальной экосистемы территории жилой застройки. Здоровье жителей, находится под серьезным давлением неблагоприятных экологических факторов. Сложившаяся ситуация требует обязательного внедрения защитных мероприятий от негативного воздействия загрязняющих веществ.

Заключение

Исследование пылевого загрязнения городской территории вблизи точечного строительства выявило превышение нормативов PM10 более чем в два раза: максимально разовая концентрация достигала 672 мкг/м^3 . Максимально разовая концентрация PM2,5 превышала 160 мкг/м^3 несколько раз при демонтажных, земляных и сварочных работах. Такое распределение указывает на локальное пылевое загрязнение как основной источник.

Полученные результаты подчеркивают необходимость тщательного экологического мониторинга воздушной среды вблизи точечного строительства, усиления мер по борьбе с загрязнением и целенаправленных мер со стороны строительных компаний по снижению этих рисков и защиты уязвимых групп населения от воздействия вредных веществ, содержащихся в загрязненном воздухе.

Список литературы

1. Study on the Effects of Dust Particle Size and Respiratory Intensity on the Pattern of Respiratory Particle Deposition in Humans / G. Zhou [et al.] // Indoor Air. 2024. Vol. 2024. P. 5025616.
2. Cui Tianxin. Development of Dust Monitoring in Urban Construction Sites and Suggestions on Dust Control // Journal of Innovation and Development. 2023. Vol. 2. P. 18–21.
3. Zuo J. Dust pollution control on construction sites: Awareness and self-responsibility of managers // J. Clean. Prod. 2017. Vol. 166. P. 312–320.
4. Yu B. Analyzing environmental risk, source and spatial distribution of potentially toxic elements in dust of residential area in Xi'an urban area, China // Ecotoxicol. Environ. Saf. 2021. Vol. 208. P. 111679.
5. Tao G. Reducing Construction Dust Pollution by Planning Construction Site Layout // Buildings. 2022. Vol. 12. P. 531.
6. Yang J. Air pollution dispersal in high density urban areas: Research on the triadic relation of wind, air pollution, and urban form // Sustainable Cities and Society. 2020. Vol. 54. P. 101941.
7. Tong R. The construction dust-induced occupational health risk using Monte-Carlo simulation // J. Clean. Prod. 2018. Vol. 184. P. 598–608.
8. Han S.-W. Modification of Hybrid Receptor Model for Atmospheric Fine Particles (PM2.5) in 2020 Daejeon, Korea, Using an ACERWT Model // Atmosphere. 2024. Vol. 15. P. 477.
9. Калюжина Е.А. Исследование пылевыделений в окружающую атмосферу и в атмосферу рабочей зоны при производстве ремонтно-строительных работ // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Сер.: Строительство и архитектура. 2020. № 4 (81). С. 371–378.
10. Манжилевская С.Е. Влияние мелкодисперсной пыли на окружающую среду при локальном строительстве // Строительство и реконструкция. 2020. Т. 6. № 92. С. 86–99.
11. Манжилевская С.Е. Экологический мониторинг экологической безопасности в зонах строительства, реконструкции и функционирования объектов // Строительные материалы и изделия. 2019. Т. 2. № 3. С. 78–84.
12. Исследование дисперсного состава пыли городской среды / В.Н. Азаров [и др.] // Вестник МГСУ. 2020. № 15. С. 432–442.
13. Construction and Analysis of the Ecological Security Pattern in Territorial Space in Shaanxi of the Yellow River Basin, China / Z. Liu [et al.] // Atmosphere. 2025. Vol. 16. P. 217.
14. Ложкина О.В. Исследование загрязнения придорожного воздуха г. Самары токсичными частицами PM10 и PM2,5 при неблагоприятных метеорологических и транспортных условиях // Технико-технологические проблемы сервиса. 2023. Т. 4. № 66. С. 10–17.
15. Kim J.-H., Sohn J.-I., Oh S.-Yu. Environmental monitoring of toxic metals in roadside soil and dust in Ulsan, South Korea: Pollution evaluation and distribution characteristics // Environ. Monit. Assess. 2020. Vol. 192. P. 773.
16. Time-Series Monitoring of Dust-Proof Nets Covering Urban Construction Waste by Multispectral Images in Zhengzhou, China / Z. Li [et al.] // Remote Sens. 2022. Vol. 14. P. 3805.
17. An ARPS-CMAQ Modeling Approach for Assessing the Atmospheric Assimilative Capacity of the Beijing Metropolitan Region / S. Cheng [et al.] // Water Air Soil Pollut. 2007. Vol. 181. P. 211–224.
18. Об утверждении методов расчетов рассеивания выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферном воздухе: приказ Минприроды Рос. Федерации от 6 июня 2017 г. № 273. М.: Минприроды России, 2017. 110 с.
19. Ложкина О.В., Пенченков А.Ю., Малышев С.А. Совершенствование и повышение эффективности информационного процесса мониторинга и прогнозирования опасного загрязнения воздушной среды мелкодисперсными взвешенными частицами // Технологии

построения когнитивных транспортных систем: материалы Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием. СПб.: ФГБОУ ВО ПГУПС, 2021. С. 175–177.

20. 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. Т. 1. № 61. С. 97–107.

21. Ложкина О.В. Методическое и приборное обеспечение для контроля опасного воздействия автотранспортной техники на атмосферный воздух // Инновации и перспективы развития горного машиностроения и электромеханики: IPDME-2021: сб. тезисов VIII Междунар. науч.-практ. конф. СПб.: С.-Петербург. горный ун-т, 2021.

22. Particle Size-Dependent Monthly Variation of Pollution Load, Ecological Risk, and Sources of Heavy Metals in Road Dust in Beijing, China / C. Men [et al.] // Toxics. 2025. Vol. 13 (1). P. 40.

23. Ecological Suitability Evaluation of City Construction Based on Landscape Ecological Analysis / Wang [et al.] // Sustainability. 2024. Vol. 16 (21). P. 9178.

24. Yao Q., An N., Ci H. The Dynamics and Trends of International Research on Urban Carbon Risk // Sustainability. 2025. Vol. 17 (1). P. 7.

25. Характеристики загрязняющих веществ: справ. Пермь: ФГБУ УралНИИ «Экология». 2017. 107 с.

26. Ecological Risk Assessment and Sustainable Management of Pollutants in Hydroponic Wastewater from Plant Factories / H-D. Ryu [et al.] // Sustainability. 2024. Vol. 16 (17). P. 7688.

27. Karakatsanis G, Mamassis N. Energy, Trophic Dynamics and Ecological Discounting // Land. 2023. Vol. 12 (10). P. 1928.

28. 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.

References

1. Study on the Effects of Dust Particle Size and Respiratory Intensity on the Pattern of Respiratory Particle Deposition in Humans / G. Zhou [et al.] // Indoor Air. 2024. Vol. 2024. P. 5025616.
2. Cui Tianxin. Development of Dust Monitoring in Urban Construction Sites and Suggestions on Dust Control // Journal of Innovation and Development. 2023. Vol. 2. P. 18–21.
3. Zuo J. Dust pollution control on construction sites: Awareness and self-responsibility of managers // J. Clean. Prod. 2017. Vol. 166. P. 312–320.
4. Yu B. Analyzing environmental risk, source and spatial distribution of potentially toxic elements in dust of residential area in Xi'an urban area, China // Ecotoxicol. Environ. Saf. 2021. Vol. 208. P. 111679.
5. Tao G. Reducing Construction Dust Pollution by Planning Construction Site Layout // Buildings. 2022. Vol. 12. P. 531.
6. Yang J. Air pollution dispersal in high density urban areas: Research on the triadic relation of wind, air pollution, and urban form // Sustainable Cities and Society. 2020. Vol. 54. P. 101941.
7. Tong R. The construction dust-induced occupational health risk using Monte-Carlo simulation // J. Clean. Prod. 2018. Vol. 184. P. 598–608.
8. Han S.-W. Modification of Hybrid Receptor Model for Atmospheric Fine Particles (PM2.5) in 2020 Daejeon, Korea, Using an ACERWT Model // Atmosphere. 2024. Vol. 15. P. 477.
9. Kalyuzhina E.A. Issledovanie pylevydelenij v okruzhayushchuyu atmosferu i v atmosferu rabochej zony pri proizvodstve remontno-stroitel'nyh rabot // Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Ser.: Stroitel'stvo i arhitektura. 2020. № 4 (81). S. 371–378.
10. Manzhilevskaya S.E. Vliyanie melkodispersnoj pyli na okruzhayushchuyu sredu pri lokal'nom stroitel'stve // Stroitel'stvo i rekonstrukciya. 2020. Т. 6. № 92. С. 86–99.

11. Manzhilevskaya S.E. Ekologicheskij monitoring ekologicheskoy bezopasnosti v zonah stroitel'stva, rekonstrukcii i funkcionirovaniya ob"ektov // Stroitel'nye materialy i izdeliya. 2019. T. 2. № 3. S. 78–84.
12. Issledovanie dispersnogo sostava pyli gorodskoj sredy / V.N. Azarov [i dr.] // Vestnik MGSU. 2020. № 15. S. 432–442.
13. Construction and Analysis of the Ecological Security Pattern in Territorial Space in Shaanxi of the Yellow River Basin, China / Z. Liu [et al.] // Atmosphere. 2025. Vol. 16. P. 217.
14. Lozhkina O.V. Issledovanie zagryazneniya pridorozhnogo vozduha g. Samary toksichnymi chasticami RM10 i RM2,5 pri neblagopriyatnyh meteorologicheskikh i transportnyh usloviyah // Tekhniko-tehnologicheskie problemy servisa. 2023. T. 4. № 66. S. 10–17.
15. Kim J.-H., Sohn J.-I., Oh S.-Yu. Environmental monitoring of toxic metals in roadside soil and dust in Ulsan, South Korea: Pollution evaluation and distribution characteristics // Environ. Monit. Assess. 2020. Vol. 192. P. 773.
16. Time-Series Monitoring of Dust-Proof Nets Covering Urban Construction Waste by Multispectral Images in Zhengzhou, China / Z. Li [et al.] // Remote Sens. 2022. Vol. 14. P. 3805.
17. An ARPS-CMAQ Modeling Approach for Assessing the Atmospheric Assimilative Capacity of the Beijing Metropolitan Region / S. Cheng [et al.] // Water Air Soil Pollut. 2007. Vol. 181. P. 211–224.
18. Ob utverzhdenii metodov raschetov rasseivaniya vybrosov vrednyh (zagryaznyayushchih) veshchestv v atmosfernom vozduhe: prikaz Minprirody Ros. Federacii ot 6 iyunya 2017 g. № 273. M.: Minprirody Rossii, 2017. 110 c.
19. Lozhkina O.V., Penchenkov A.Yu., Malyshev S.A. Sovershenstvovanie i povyshenie effektivnosti informacionnogo processa monitoringa i prognozirovaniya opasnogo zagryazneniya vozdushnoj sredy melkodispersnymi vzveshennymi chasticami // Tekhnologii postroeniya kognitivnyh transportnyh sistem: materialy Vseros. nauch.-prakt. konf. s mezhdunar. uchastiem. SPb.: FGBOU VO PGUPS, 2021. S. 175–177.
20. Lozhkina O.V., Nikitina T.G., Cvetkov V.A. Sovershenstvovanie instrumental'nyh metodov analiza opasnyh zagryaznitelej vozduha na primere opredeleniya ammiaka // Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere. 2022. T. 1. № 61. S. 97–107.
21. Lozhkina O.V. Metodicheskoe i pribornoe obespechenie dlya kontrolya opasnogo vozdejstviya avtotransportnoj tekhniki na atmosfernyj vozduh // Innovacii i perspektivy razvitiya gornogo mashinostroeniya i elektromekhaniki: IPDME-2021: sb. tezisov VIII Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. SPb.: S.-Peterb. gornyj un-t, 2021.
22. Particle Size-Dependent Monthly Variation of Pollution Load, Ecological Risk, and Sources of Heavy Metals in Road Dust in Beijing, China / C. Men [et al.] // Toxics. 2025. Vol. 13 (1). P. 40.
23. Ecological Suitability Evaluation of City Construction Based on Landscape Ecological Analysis / Wang [et al.] // Sustainability. 2024. Vol. 16 (21). P. 9178.
24. Yao Q., An N., Ci H. The Dynamics and Trends of International Research on Urban Carbon Risk // Sustainability. 2025. Vol. 17 (1). P. 7.
25. Harakteristiki zagryaznyayushchih veshchestv: sprav. Perm': FGBU UralNII «Ekologiya». 2017. 107 s.
26. Ecological Risk Assessment and Sustainable Management of Pollutants in Hydroponic Wastewater from Plant Factories / H-D. Ryu [et al.] // Sustainability. 2024. Vol. 16 (17). P. 7688.
27. Karakatsanis G, Mamassis N. Energy, Trophic Dynamics and Ecological Discounting // Land. 2023. Vol. 12 (10). P. 1928.
28. GOST R 58577–2019. Pravila ustanovleniya normativov dopustimyh vybrosov zagryaznyayushchih veshchestv proektiruemymi i dejstvuyushchimi hozyajstvuyushchimi sub"ektami i metody opredeleniya etih normativov. M.: AO «NII Atmosfera». 2019. 16 s.

Информация о статье:

Статья поступила в редакцию: 06.03.2025; одобрена после рецензирования: 02.04.2025;
принята к публикации: 23.05.2025

The information about article:

The article was submitted to the editorial office: 06.03.2025; approved after review: 02.04.2025;
accepted for publication: 23.05.2025

Информация об авторах:

Манжилевская Светлана Евгеньевна, доцент кафедры «Организация строительства» Донского государственного технического университета (344000, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, д. 1), кандидат технических наук, e-mail: smanzhilevskaya@yandex.ru, SPIN-код: 9612-8379

Бакин Никита Сергеевич, аспирант кафедры «Безопасность жизнедеятельности в строительстве и городском хозяйстве» Волгоградского государственного технического университета (400074, г. Волгоград, ул. Академическая, д. 1), e-mail: azarovpubl@mail.ru

Азаров Валерий Николаевич, заведующий кафедрой «Безопасность жизнедеятельности в строительстве и городском хозяйстве» Волгоградского государственного технического университета (400074, г. Волгоград, ул. Академическая, д. 1), доктор технических наук, e-mail: azarovpubl@mail.ru, SPIN-код: 9887-0836

Information about the authors:

Manzhilevskaya Svetlana E., associate professor of the department of construction management at the Don state technical university (344000, Rostov-on-Don, Gagarin sq., 1), candidate of technical sciences, e-mail: smanzhilevskaya@yandex.ru, SPIN: 9612-8379

Bakin Nikita S., postgraduate student of the department of life safety in construction and urban economy of Volgograd state technical university (400074, Volgograd, Akademicheskaya str., 1), e-mail: azarovpubl@mail.ru

Azarov Valery N., head of the department of life safety in construction and urban economy of Volgograd state technical university (400074, Volgograd, Akademicheskaya str., 1), doctor of technical sciences, e-mail: azarovpubl@mail.ru, SPIN: 9887-0836