

Научная статья

УДК 692.41; DOI: 10.61260/1998-8990-2026-2-220-230

ПРИМЕНЕНИЕ «ЗЕЛЕННЫХ» КРЫШ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ГОРОДСКОЙ ВОЗДУШНОЙ СРЕДЫ

✉ Сысоева Елена Владимировна.

Московский национальный строительный университет, Москва, Россия

✉ SysoevaEV@mgsu.ru

Аннотация. Воздух включает в себя не только смесь газов, которые необходимы для жизни на планете, но и загрязняющие пылевые взвешенные частицы, состав которых зависит от многих природных и антропогенных факторов, климата, объемно-планировочного решения рассматриваемой территории.

Представленная статья анализирует причины увеличения концентрации $PM_{2,5}$ и PM_{10} частиц, источники загрязнения, их дисперсный состав. Сделан обзор работ по методам и методикам исследования состава пыли, распределения загрязнителей РМ на различной высоте в воздухе. Показано, насколько сильно дисперсный состав влияет на последствия их попадания в организм человека, приводя не только к хроническим заболеваниям, мешающим нормальному функционированию организма, но и к летальному исходу. Приведены экспериментально подтвержденные факты о том, что растительный покров не только уменьшает концентрацию непосредственно над зелеными насаждениями, но и на расстоянии 10 м от границы исследования.

Статья предлагает универсальную методику уменьшения концентрации взвешенных частиц $PM_{2,5}$ и PM_{10} в атмосферном воздухе с помощью применения «зеленых» крыш, то есть компенсационного озеленения города второго уровня.

В статье рассмотрена ретроспектива термина «зеленые» крыши и описана методика экспериментального натурного исследования «зеленой» крыши, построенной на территории г. Рязани компанией ТЕХНОНИКОЛЬ.

Выводы посвящены обзору по предложенному вопросу и экспериментальной части работы.

Ключевые слова: обеспечение экологической безопасности городской воздушной среды, «зеленые» крыши, распределение загрязнителей РМ в воздухе, твердые взвешенные частицы $PM_{2,5}$ и PM_{10} , методы изучения состава пыли

Для цитирования: Сысоева Е.В. Применение «зеленых» крыш для обеспечения экологической безопасности городской воздушной среды // Проблемы управления рисками в техносфере. 2026. № 2 (78). С. 220–230. DOI: 10.61260/1998-8990-2026-2-220-230

Scientific article

**USING GREEN ROOFS TO ENSURE ENVIRONMENTAL SAFETY
IN THE URBAN AIR ENVIRONMENT**

✉ Sysoeva Elena V.

Moscow national research university of civil engineering, Moscow, Russia

✉ SysoevaEV@mgsu.ru

Abstract. Air includes not only a mixture of gases that are necessary for life on the planet, but also polluting dust particles, the composition of which depends on many natural and anthropogenic factors, climate, and the spatial layout of the area in question.

This article analyzes the causes of increased concentrations of PM_{2.5} and PM₁₀ particles, the sources of pollution, and their dispersed composition. It provides a review of research methods and techniques for studying the composition of dust, the distribution of PM pollutants at different altitudes in the air, and the distribution of particles along the human body. It is shown how much the dispersed composition affects the consequences of their entry into the human body, leading not only to chronic diseases that interfere with the normal functioning of the body, but also to death.

The article presents experimentally confirmed facts that plant cover not only reduces the concentration directly above green spaces, but also at a distance of 10 m from the study boundary.

The article proposes a method for managing the environmental risk of air contamination with PM_{2.5} and PM₁₀ suspended particles by using not only traditional landscaping, but also compensatory landscaping of the second-level city, so the use of green roofs. The article provides a retrospective of the term «green» roofs and describes the methodology of an experimental field study of a «green» roof in Ryazan by the company TEKHNONIKOL.

The conclusions are devoted to a review of the proposed issue and the experimental part of the work.

Keywords: ensuring the environmental safety of the urban air environment, «green» roofs, distribution of PM pollutants in the air, solid suspended particles PM_{2.5} and PM₁₀, methods for studying the composition of dust

For citation: Sysoeva E.V. Using green roofs to ensure environmental safety in the urban air environment // Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere = Problems of risk management in the technosphere. 2026. № 2 (78). P. 220–230. DOI: 10.61260/1998-8990-2026-2-220-230

Введение

Охраной окружающей среды занимаются все страны и государства по всему миру, поскольку чистота и состав воздуха непосредственно влияют не только на здоровье людей, но на качество и производительность труда, и в конечном счете – на продолжительность жизни.

В каждой стране созданы нормативные документы, постановления правительств для нормирования загрязняющих веществ в воздухе, предельно допустимых выбросов вредных веществ и разрешения на предельную концентрацию этих выбросов в атмосферный воздух. В последние четыре столетия наблюдается резкое увеличение размеров территорий городов в мире благодаря увеличению населения планеты. При этом в Евразии самая высокая плотность населения от 11–40 чел./км² до более 500 чел./км², что превышает плотность населения на других континентах более чем в два раза.

По данным Организации Объединенных Наций, число городов с населением более 10 млн чел. увеличилось на 37 % и достигло 48 %. Если в 1700 г. на планете было 600 млн чел., то на данный момент планету заселяют 7,7 млрд чел., а в перспективе к 2100 г. предполагается, что эта цифра увеличится до 10,9 млрд чел. При этом в последние несколько десятилетий наблюдается самая высокая скорость увеличения населения планеты, 65 % которого живет в городах [1].

Увеличение населения и миграции в города ведет за собой увеличение мощности промышленных предприятий и строительства, а также увеличение высотности зданий, и, в конечном счете – уменьшение природных зеленых насаждений и даже мест для их компенсации.

Значительный вклад в состав загрязняющих веществ в воздухе приносят взвешенные твердые частицы $PM_{2,5}$ и PM_{10} [2–3]. По статистическим данным, наиболее сильное влияние на здоровье городского населения имеют заболевания системы органов дыхания, пищеварительного тракта, кожные заболевания, включая аллергические реакции, и составляют 30 % от всех факторов, которые в итоге могут стать источником тяжелых хронических заболеваний и привести к уменьшению трудоспособности и даже летальному исходу. Именно эти заболевания и являются результатом, в том числе, влияния взвешенных частиц $PM_{2,5}$ и PM_{10} на организм человека.

Качество атмосферного воздуха на большей территории планеты в рамках градостроительных систем не соответствует гигиеническим нормативам по содержанию твердых взвешенных частиц PM_{10} и $PM_{2,5}$.

Авторы [4] сделали натурный эксперимент по распределению PM частиц в дыхательных путях человека. Они выяснили, что оседание мелких и мельчайших частиц $PM_{2,5}$ по всему дыхательному тракту от носоглотки и гортани до нижних отделов, то есть бронхов, происходит неравномерно. В верхней части более 65 % частиц имеют диаметр более 10 мкм, а в нижних долях $PM_{2,5}$ составляет более 60 %, остальные – до 1,5 мкм. Именно эти частицы вызывают такие заболевания, как рак легких, бронхит, астма и хронические заболевания легких и крови.

Для того чтобы оценить качество воздуха, применяют следующие показатели: максимальный разрешенный предельно допустимый уровень концентрации вещества в воздухе (ПДК); предельно допустимую среднесуточную концентрацию (ПДСК); максимальную разовую концентрацию (МРК); индекс AQI (Air Quality Index). Важным показателем считается концентрация взвешенных твердых частиц $PM_{2,5}$ и PM_{10} , которые и являются представителями самых опасных элементов атмосферного воздуха для здоровья людей.

Методами и мероприятиями по уменьшению концентрации взвешенных загрязняющих частиц в воздухе являются градостроительные планировочные методы (уменьшение плотности автомобилей на дорогах, организация разноуровневых пересечений дорог); технологические, включающие совершенствование работы двигателей автотранспорта, использование альтернативного топлива; санитарно-технические (каталитический дожиг выхлопных газов, фильтрация твердых частиц и выхлопных газов) и административно-нормативные, то есть установление более строгих нормативов для предельной концентрации различных загрязняющих веществ в воздухе для фоновое загрязнение или одиночных промышленных выбросов.

Одним из методов уменьшения концентрации пыли в городах является их озеленение, что зафиксировано в нескольких нормативных документах по благоустройству территории. После аналитического исследования всех нормативных документов в области благоустройства территории и устройства «зеленых» крыш выявлено, что среди перечисленных нормативных документов впервые введено понятие озелененная («зеленая») крыша в ГОСТ Р 58875–2020 «Зеленые» стандарты. Озеленяемые и эксплуатируемые крыши зданий и сооружений и разделены понятия «субстрат» и «почва». Но ни в одном из представленных нормативных документов «зеленые» крыши не учитываются в озеленении города, хотя их применение вносит существенный вклад в общее озеленение города – более 12–32 % [5].

Источником загрязнений во всех крупных городах являются автомагистрали, дорожная пыль (80 %) и локальные источники в виде заводов, теплоэлектроцентралей и пр. (20 %). При этом при увеличении скорости оседания взвешенных частиц их диаметр (от 0,6 до 0,9 м/с) увеличивается вдвое (от 1,6 мкм до 33 мкм). Авторы акцентируют внимание на том, что уменьшение PM_{10} частиц происходит благодаря высадке зеленых насаждений.

Ученые во всех городах и странах использовали следующие методы и методики изучения дисперсного состава пыли: метод «рассечения» [6], метод электронной микроскопии [7], метод

использования мобильного поста отбора проб пыли, содержащейся в атмосферном воздухе, со стратификацией по высоте, биоиндикационные методы [8] и различные методики микроскопического анализа пыли с применением персонального компьютера [9].

Свойства взвешенных твердых частиц продолжают изучаться по всему миру для получения базы понимания процесса переноса аэрозолей и взаимного влияния на них климатических характеристик [10–13].

В Московском регионе с 2019 г. на базе Института физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН проводятся исследования концентрации загрязняющих веществ, в том числе PM_{10} и $PM_{2,5}$, в приземном слое на территории центральной части Москвы. Были определены максимальные и минимальные значения концентрации загрязняющих веществ в течение дня, месяца, сравнений с временами года и атмосферными изменениями.

Губанова Д.П., В.М. Копейкин и А.А. Виноградова на основе проведенных исследований получили подтверждение следующим фактам:

1. Минимальные концентрации взвешенных частиц PM_{10} и $PM_{2,5}$ в центральной части Москвы были получены в мае и сентябре при достаточно низкой температуре атмосферного воздуха.

2. Среднемесячная концентрация взвешенных частиц минимальна в зимнее время, когда земля покрывается снегом, так как именно частицы почвы и пыли являются главными составляющими элементами твердых взвешенных частиц.

3. Метеоусловия слабо влияют на изменение концентрации пылевых масс по сравнению с другими элементами возмущения.

Экспериментальная часть

С 2025 г. на крыше офисно-производственного здания компанией ТЕХНОНИКОЛЬ в г. Рязани начат масштабный эксперимент по влиянию «зеленой» крыши на экологическое состояние прилегающей территории и границ этого влияния (рис. 1).



Рис. 1. Модули высадок
в г. Рязани в районе Восточный
Промышленный узел, июнь 2025 г.



Рис. 2. Метеостанция RS485,
модель 486 в г. Рязани в районе
Восточный Промышленный узел,
июнь 2025 г.

Экспериментальная территория расположена в окружении двух дорог с северо-запада – Куйбышевского шоссе (примерно 24 м шириной), с северной стороны – Восточная Окружная дорога. Со стороны Новосёлковской ул. – Куйбышевское шоссе находится в непосредственной близости от шламонакопителя в балке Подрябинка, где хранятся отходы нефтепродуктов. С северной стороны расположены озера природного происхождения в Хамбушево. Хамбушевская роща примыкает к Восточному Промузлу. На расстоянии 1,5 км с северной стороны от исследуемого объекта находится Карцевский лес. В 10 км от него расположена р. Ока шириной 24,5 м с западной стороны.

В июне 2025 г. на экспериментальной территории установлена метеостанция RS485, модель 486, которая в непрерывном дистанционном режиме дает мониторинг концентрации взвешенных частиц $PM_{2,5}$ и PM_{10} , что дает представление о запыленности территории и отклонениях в зависимости от силы и направления ветра, температуры, осадков и атмосферного давления (рис. 2).



Рис. 3. Модули высадок в г. Рязани в районе Восточный Промышленный узел, сентябрь 2025 г.



Рис. 4. Модули высадок в г. Рязани в районе Восточный Промышленный узел, апрель 2026 г.

На крыше здания высажены растения: очиток Эверса, очиток скальный «Ангелина», очиток «Едкий» и очиток ложный «Пурпурный ковер». Высота растения достигнет от 10 до 70 см. В зависимости от разновидностей очитка цветение приходится на весну, лето или осень. Растения посажены в начале лета и к октябрю 2025 г. плотность распространения растения показана на рис. 3, 4.

В начале марта 2026 года модули зеленых насаждений имели уплотненный снежный покров, колеблющийся в пределах 65 см–85 см (рис. 5).



Рис. 5. Модули высадок в г. Рязани в районе Восточный Промышленный узел, март 2026 г.

Снег собирал пылевые взвешенные частицы РМ на всей территории «зеленой» крыши, покрытой снежным покровом, и приобрел сероватый оттенок. Каждый новый слой снега опускал взвешенные частицы в субстрат. Это говорит о том, что «зеленая» крыша продолжает работать и в зимнее время не только как традиционное утепление, но и поглощение субстратом пылевых взвешенных частиц.

Результаты обработки данных эксперимента

По результатам экспериментального исследования за последние 10 месяцев с июня 2025 г. по апрель 2026 г. выполнены графики концентрации взвешенных частиц РМ₁₀ и РМ_{2,5} атмосферного воздуха, осадков, колебаний температуры в атмосфере и скорости ветра в один и тот же промежуток времени. На экспериментальном участке крыши производится непрерывный мониторинг температуры и влажности воздуха и субстрата. С регулярностью

один раз в два месяца берутся образцы грунта и пылевых частиц с зеленых насаждений для фиксации и дальнейшего сравнения фракционного и дисперсного состава.

По полученным данным метеорологической станции сделаны сравнения максимальных и минимальных значений концентрации взвешенных частиц $PM_{2,5}$ и PM_{10} в зависимости от климатических характеристик тех дат, которые соответствовали этим максимальным отметкам $PM_{2,5}$ и PM_{10} (рис. 6, 7).



Рис. 6. График изменения концентрации взвешенных частиц $PM_{2,5}$ атмосферного воздуха в г. Рязани в районе Восточный Промышленный узел, апрель 2026 г.

Средний уровень концентрации пыли на выбранной территории составляет 22 мкг/м³, что абсолютно сходится с данными сайта IQAir с аэрологической станции и лаборатории контроля загрязнения атмосферы на базе Гидрометбюро по Верхне-Волжскому управлению по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, открытой приказом № 12 от 18 января 1988 г.



Рис. 7. График изменения концентрации взвешенных частиц как PM_{10} атмосферного воздуха в г. Рязани в районе Восточный Промышленный узел, апрель 2026 г.

Данные за половину 2025 г. показали, что средний уровень концентрации взвешенных твердых частиц $PM_{2,5}$ превышает рекомендации Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ) в 4,45 раза, а всплески повышенной концентрации $PM_{2,5}$ частиц превышают данные ВОЗ в 43,4 раза.

По требованиям ГН 2.1.6.3492–17 «Предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе городских и сельских поселений» средняя фоновая концентрация пыли находится на верхней границе, а средние и максимальные

всплески концентрации $PM_{2,5}$ превышают в 2,4 и в 8,7 раза соответственно, что серьезно угрожает здоровью горожан.

Выявлено, что во всех случаях максимальных значений концентрации взвешенных частиц $PM_{2,5}$ и PM_{10} влажность атмосферного воздуха колебалась от 60 до 95 %. Осадки колебались от 0 до 14 мм, кроме даты 4 июля 2025 г., когда осадки из всех дней максимальны и равны 86 мм.

При сравнении двух графиков (рис. 6, 7) выявлено, что концентрации $PM_{2,5}$ и PM_{10} частиц примерно сохраняются одинаковыми и равномерными в течение всего рассматриваемого периода. Пробы брались через каждые 30 мин.

Все измерения производились на высоте 2,5 м от уровня крыши, то есть в приземном слое влияния взвешенных частиц на дыхание человека.

Температура не зависимо от концентрации взвешенных частиц колебалась от $-20^{\circ}C$ до $+20^{\circ}C$ и не являлась причиной изменения концентрации взвешенных частиц (рис. 8).

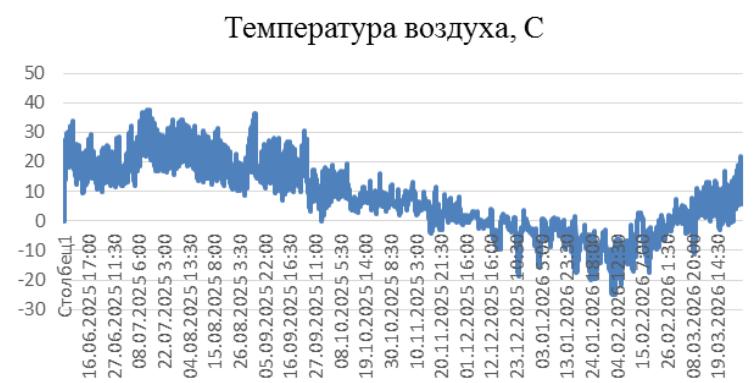


Рис. 8. График изменения температуры воздуха в г. Рязани в районе Восточный Промышленный узел, апрель 2026 г.

При высокой влажности до 86,2 % с 29 июня в течение суток концентрация взвешенных частиц PM_{10} уменьшалась до 3 мкг/м^3 , а $PM_{2,5}$ – с 16 до 0 мкг/м^3 (рис. 9).

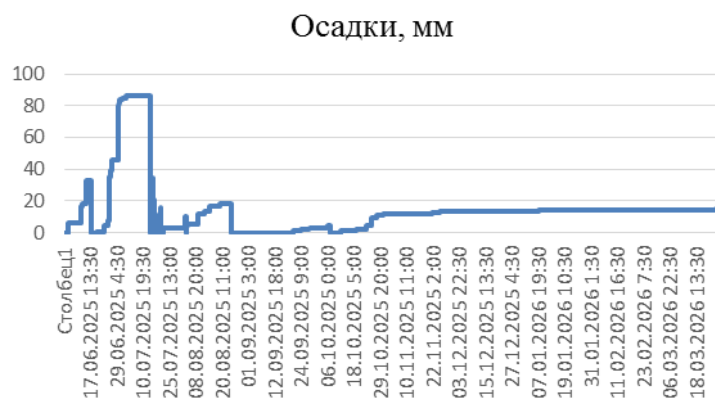


Рис. 9. График изменения осадков в г. Рязани в районе Восточный Промышленный узел, апрель 2026 г.

При смене температуры с положительной на отрицательную в атмосферном воздухе частицы PM_{10} и $PM_{2,5}$ резко сократили свою концентрацию до $1\text{--}15 \text{ мкг/м}^3$ и до $0\text{--}2,5 \text{ мкг/м}^3$ соответственно.

При нескольких порывах южного, северного и юго-западного ветра, по силе достигающего до 7 баллов по шкале Бофорта (15–17 м/с), концентрация взвешенных частиц PM_{10} и $PM_{2,5}$ колебалась в обычных пределах, отвечая закону случайных величин (рис. 10).



Рис. 10. График изменения скорости ветра в г. Рязани в районе Восточный Промышленный узел, апрель 2026 г.

Обсуждение и перспективы

Растения поглощают осадки, которые выпадают на этой площади, поглощают пылевые частицы PM не только непосредственно под зелеными насаждениями, но и вокруг здания. Для дальнейшей верификации данных концентрации $PM_{2,5}$ и PM_{10} частиц в апреле – мае 2026 г. будет установлена вторая метеорологическая станция непосредственно на территории «зеленой» крыши. Все полученные данные будут сравниваться со станцией.

Сравнение концентрации $PM_{2,5}$ и PM_{10} частиц, скорости оседания, осадков, влажности, силы и направления ветра на исследуемом участке даст возможность создания программы по уменьшению концентрации пылевых взвешенных частиц на территории городов России и, в конечном итоге, – улучшения качества и продления жизни горожан.

Для дальнейшей верификации данных концентрации $PM_{2,5}$ и PM_{10} частиц в апреле – мае 2026 г. будет установлена вторая метеорологическая станция непосредственно на территории «зеленой» крыши.

Заключение

1. Распределение взвешенных частиц $PM_{2,5}$ по высоте происходит неравномерно: примерно с 0,5 до 1,5 м этих частиц в процентном отношении меньше всех остальных. Среднее значение минимальной концентрации пыли в зоне дыхания человека (0,5–2 м), оказалось на высоте 0,5 м и составляет $0,17 \text{ мкг/м}^3$.

2. Распределение взвешенных частиц PM_{10} по высоте происходит относительно равномерно по всему столбу до 10 м [14]. Исключение составляет локальное происхождение источников загрязнения в виде промышленных заводов с большим выбросом твердых взвешенных частей.

3. При максимальной скорости оседания PM частицы имеют диаметр в два раза больше, чем при минимальной скорости оседания.

4. Концентрация взвешенных частиц увеличивается при повышении температуры атмосферного воздуха.

5. На о. Русский воздействие пылевых частиц сосредоточено на фракциях от 0,1 до 10 мкм, на континентальной части в г. Владивостоке – на фракции размером 0,1–50 мкм,

что связано с тем, что на территории города температурно-влажностная инверсия в приземном слое имеет большие градиенты.

6. Массовое содержание PM_{10} в общем пылевом загрязнении колеблется в диапазоне 73–81 %, а концентрация мелкодисперсной пыли $PM_{2,5}$ колеблется в пределах двух узких диапазонов около 11,6 и около 7 мкм. Исследование доли $PM_{2,5}$ от общей концентрации показало, что она составляет в среднем порядка 20 %.

7. При увеличении температуры атмосферного воздуха, что часто бывает в месте концентрации автомобильных трасс, концентрация взвешенных частиц увеличивается.

8. В городах концентрация взвешенных частиц $PM_{2,5}$ и PM_{10} в атмосферном воздухе может быть уменьшена за счет применения озеленения, в том числе компенсационного озеленения на крышах зданий [15].

Список источников

1. Suggested citation: United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division. World Urbanization Prospects: The 2018 Revision, Online Edition. 2018. URL: <https://population.un.org/wup/maps?tab=Growth%20Rates%20of%20Urban%20Agglomerations&year=2018-2030> (дата обращения: 18.02.2026).

2. Губанова Д.П., Копейкин В.М., Виноградова А.А. Изменчивость содержания минеральной и сажевой компонент приземного аэрозоля в Москве в 2022 году // Атмосферная радиация и динамика (МСАРД–2023): сб. трудов Междунар. симпозиума. СПб.: ООО «Издательство ВВМ», 2023. С. 137–141. EDN ICQBYJ.

3. Сысоева Е.В., Морозов И.В. Экономическая эффективность применения «зеленых» крыш на примере крупных городов // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Сер.: Строительство и архитектура. 2024. Вып. 4 (97). С. 254–263. DOI: 10.35211/18154360_2024_4_254

4. Распределение твёрдых частиц микроразмерного диапазона в дыхательных путях человека: натурный эксперимент / Н.В. Зайцева [и др.] // Гигиена и санитария. 2023. Т. 102. № 5. С. 412–420. EDN IMNZUS. DOI: 10.47470/0016-9900-2023-102-5-412-420

5. Сысоева Е.В., Безбородов Е.Л. Влияние «зеленых» крыш на экологическое состояние воздуха в крупных городах России // Биосферная совместимость: человек, регион, технологии. 2024. № 4 (48). Р. 52–61. DOI: 10.22227/2311-1518.2024.4.52-61

6. Мобильный пост отбора проб пыли приземного слоя атмосферного воздуха со стратификацией по высоте / Е.М. Баглаева [и др.] // Экологические системы и приборы. 2017. № 7. С. 23–32. EDN ZCSUVX.

7. Лясин Р.А., Багров А., Азарова М.Д. Определение морфологического состава пылевых частиц // Инженерный вестник Дона. 2022. № 6 (90). С. 759–765. EDN BAZEXF.

8. Васильев А.В. Инструментальный анализ источников промышленных выбросов и выбросов автотранспорта в воздушную среду в условиях урбанизированных территорий (на примере городского округа Тольятти) // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2024. Т. 26. № 5 (121). С. 184–195. EDN YJCSNJ. DOI: 10.37313/1990-5378-2024-26-5-184-195

9. Методика микроскопического анализа дисперсного состава пыли с применением персонального компьютера (ПК) / В.Н. Азаров [и др.] // Законодательная и прикладная метрология. 2004. № 1. С. 46–48.

10. Seasonal distribution and vertical structure of different types of aerosols in southwest China observed from CALIOP / T. Liao [et al.] // Atmospheric Environment. 2021. Vol. 246. P. 118145. DOI: 10.1016/j.atmosenv.2020.118145

11. Evaluation of vertical and horizontal distribution of particulate matter near an urban roadway using an unmanned aerial vehicle / R. Dubey [et al.] // Science of The Total Environment. 2022. Vol. 836. P. 155600. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2022.155600

12. Effects of aerosol type and simulated aging on performance of low-cost PM sensors / J. Tryner [et al.] // *J. of Aerosol Science*. 2020. Vol. 150. P. 105654. DOI: 0.1016/j.jaerosci.2020.105654

13. Particulate matter size distribution in air surface layer of Middle Ural and Arctic territories / E.M. Baglaeva [et al.] // *Atmospheric Pollution Research*. 2019. Vol. 10. № 4. P. 1220–1226. EDN QUSDXO. DOI: 10.1016/j.apr.2019.02.005

14. Дисперсный состав пыли приземного слоя атмосферы урбанизированной территории по данным экологического скрининга на примере города Екатеринбурга / И.Е. Субботина [и др.] // *Экологические системы и приборы*. 2018. № 9. С. 3–10. EDN PABVZH.

15. Сысоева Е.В. Принципы и уровни озеленения крупных городов России // *Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета*. Сер.: Строительство и архитектура. 2026. № 1 (102). С. 326–336. EDN KUDRWK. DOI: 10.35211/18154360_2026_1_326

References

1. Suggested citation: United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division. *World Urbanization Prospects: The 2018 Revision*, Online Edition. 2018. URL: <https://population.un.org/wup/maps?tab=Growth%20Rates%20of%20Urban%20Agglomerations&year=2018-2030> (data obrashcheniya: 18.02.2026).

2. Gubanova D.P., Kopejkin V.M., Vinogradova A.A. Izmenchivost' soderzhaniya mineral'noj i sazhevoj komponent prizemnogo aerolya v Moskve v 2022 godu // *Atmosfernaya radiatsiya i dinamika* (MSARD–2023): sb. trudov Mezhdunar. simpoziuma. SPb.: OOO «Izdatel'stvo VVM», 2023. S. 137–141. EDN ICQBYJ.

3. Sysoeva E.V., Morozov I.V. Ekonomicheskaya effektivnost' primeneniya «zelenyh» krysh na primere krupnyh gorodov // *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitektarno-stroitel'nogo universiteta*. Ser.: Stroitel'stvo i arhitektura. 2024. Vyp. 4 (97). S. 254–263. DOI: 10.35211/18154360_2024_4_254

4. Raspreделение tvorydyh chastic mikrorazmernogo diapazona v dyhatel'nyh putyah cheloveka: naturnyj eksperiment / N.V. Zajceva [i dr.] // *Gigiena i sanitariya*. 2023. T. 102. № 5. S. 412–420. EDN IMNZUS. DOI: 10.47470/0016-9900-2023-102-5-412-420

5. Sysoeva E.V., Bezborodov E.L. Vliyanie «zelenyh» krysh na ekologicheskoe sostoyanie vozduha v krupnyh gorodah Rossii // *Biosfernaya sovmestimost': chelovek, region, tekhnologii*. 2024. № 4 (48). P. 52–61. DOI: 10.22227/2311-1518.2024.4.52-61

6. Mobil'nyj post otbora prob pyli prizemnogo sloya atmosfernogo vozduha so stratifikaciej po vysote / E.M. Baglaeva [i dr.] // *Ekologicheskie sistemy i pribory*. 2017. № 7. S. 23–32. EDN ZCSUVX.

7. Lyasin R.A., Bagrov A., Azarova M.D. Opredelenie morfologicheskogo sostava pylevyh chastic // *Inzhenernyj vestnik Dona*. 2022. № 6 (90). S. 759–765. EDN BAZEXF.

8. Vasil'ev A.V. Instrumental'nyj analiz istochnikov promyshlennyh vybrosov i vybrosov avtotransporta v vozdušnuyu sredu v usloviyah urbanizirovannyh territorij (na primere gorodskogo okruga Tol'yatti) // *Izvestiya Samarskogo nauchnogo centra Rossijskoj akademii nauk*. 2024. T. 26. № 5 (121). S. 184–195. EDN YJCSNJ. DOI: 10.37313/1990-5378-2024-26-5-184-195

9. Metodika mikroskopicheskogo analiza dispersnogo sostava pyli s primeneniem personal'nogo komp'yutera (PK) / V.N. Azarov [i dr.] // *Zakonodatelnaya i prikladnaya metrologiya*. 2004. № 1. S. 46–48.

10. Seasonal distribution and vertical structure of different types of aerosols in southwest China observed from CALIOP / T. Liao [et al.] // *Atmospheric Environment*. 2021. Vol. 246. P. 118145. DOI: 10.1016/j.atmosenv.2020.118145

11. Evaluation of vertical and horizontal distribution of particulate matter near an urban roadway using an unmanned aerial vehicle / R. Dubey [et al.] // *Science of The Total Environment*. 2022. Vol. 836. P. 155600. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2022.155600
12. Effects of aerosol type and simulated aging on performance of low-cost PM sensors / J. Tryner [et al.] // *J. of Aerosol Science*. 2020. Vol. 150. P. 105654. DOI: 10.1016/j.jaerosci.2020.105654
13. Particulate matter size distribution in air surface layer of Middle Ural and Arctic territories / E.M. Baglaeva [et al.] // *Atmospheric Pollution Research*. 2019. Vol. 10. № 4. P. 1220–1226. EDN QUSDXO. DOI: 10.1016/j.apr.2019.02.005
14. Dispersnyj sostav pyli prizemnogo sloya atmosfery urbanizirovannoj territorii po dannym ekologicheskogo skrinina na primere goroda Ekaterinburga / I.E. Subbotina [i dr.] // *Ekologicheskie sistemy i pribory*. 2018. № 9. S. 3–10. EDN PABBZH.
15. Sysoeva E.V. Principy i urovni ozeleneniya krupnyh gorodov Rossii // *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Ser.: Stroitel'stvo i arhitektura*. 2026. № 1 (102). S. 326–336. EDN KUDRWK. DOI: 10.35211/18154360_2026_1_326

Информация о статье:

Статья поступила в редакцию: 17.12.2025; одобрена после рецензирования: 22.04.2026; принята к публикации: 24.04.2026

The information about article:

The article was submitted to the editorial office: 17.12.2025; approved after review: 22.04.2026; accepted for publication: 24.04.2026

Сведения об авторе:

Сысоева Елена Владимировна, доцент кафедры Архитектурно-строительного проектирования и физики среды Национального исследовательского Московского национального строительного университета (129337, Москва, Ярославское ш., д. 26, к. 1), кандидат технических наук, доцент, e-mail: SysoevaEV@mgsu.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7250-3190>, SPIN-код: 5703-9029

Information about authors:

Sysoeva Elena V., associate professor of the department of architectural and structural design and environmental physics at the National research moscow national university of civil engineering (129337, Moscow, Yaroslavskoe Sh., 26, k1), candidate of technical sciences, associate professor, e-mail: SysoevaEV@mgsu.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7250-3190>, SPIN: 5703-9029