

УДК 504.3.054

Е. В. Сысоева

*Национальный исследовательский
Московский государственный строительный университет*

ПРИМЕНЕНИЕ СИСТЕМЫ ОЗЕЛЕНЕНИЯ ДЛЯ УМЕНЬШЕНИЯ КОНЦЕНТРАЦИИ РМ-ЧАСТИЦ НА УРОВНЕ КРЫШ В ЗОНЕ ГРАЖДАНСКИХ ЗДАНИЙ

Состояние окружающей среды на территории РФ ухудшается из-за увеличения городского населения (в основном миграции жителей из сельской местности), необходимости увеличения темпов строительства зданий и дорог. По этой причине происходит деградация земель и изменение среды обитания растений, резкое уменьшение площадей для возможного восстановления зеленых насаждений.

Нормативные документы, действующие в России на данный момент, не регламентируют точных формул для озеленения городских территорий, что приводит к несанкционированному уменьшению озеленения в пределах городов.

Для определения минимально необходимой площади озеленения города предлагается исходить из весового количества пыли, которое могут связывать зеленые насаждения.

Проведенные расчеты показали, что площадей для озеленения менее нормы. Предлагается применения второго уровня озеленения — озеленение крыш, что даст возможность создать компенсационное озеленения, которое поможет связать пылевые частицы и тем самым уменьшить концентрацию РМ-частиц в воздухе. Подсчитано, что в любом крупном городе России таких площадей достаточно.

Также приводится описание натурального эксперимента, начатого в Рязани, с помощью компании «Технониколь».

К л ю ч е в ы е с л о в а: «зеленые» крыши, концентрация взвешенных частиц в воздухе, площадь озеленения города.

Введение

«Состояние окружающей среды на территории Российской Федерации, где сосредоточены большая часть населения страны, производственных мощностей и наиболее продуктивные сельскохозяйственные угодья (составляет около 15 процентов территории страны), оценивается как неблагоприятное по экологическим параметрам», — говорится в Стратегии экологической безопасности Российской Федерации на период до 2025 года.

В городах на данный момент проживает 74 % всего населения страны. Их здоровью угрожает негативное воздействие таких источников, как заводы, транспорт и объекты капитального строительства. По данным Росстата, на данный момент 17,1 млн чел. проживает в городах с высоким и очень высоким уровнем загрязнения, который является не только угрозой для здоровья, но и угрозой для жизни [1].

В последнее тридцатилетие сохраняется тенденция миграции сельских жителей в города [2—4], увеличения темпов капитального строительства. Все это приводит к резкому уменьшению природных территорий естественного озеленения.

Происходит деградация земель и изменения среды обитания растений [5]. В результате теряется возможность природного очищения воздуха с помощью зеленых насаждений.

Решением экологических задач по уменьшению концентрации взвешенных твердых частиц РМ в воздухе может быть применение компенсационного озеленения на уровне стилобатов, крыш и на фасадах зданий гражданского и в некоторых случаях промышленного назначения.

Основная часть

Теоретические, статистические и экспериментальные исследования

Ни в одном из нормативных документов не даны указания на учет озеленения на крышах зданий и сооружений, т. е. озеленяемых и эксплуатируемых крыш зданий и сооружений.

Для определения необходимой площади озеленения городских территорий предлагается исходить из весового количества пыли, которое могут связывать зеленые насаждения (кустарники, деревья, газонная трава).

Исходим из факта, что в среднем на городские территории на 1 км^2 выпадает 500 т взвешенных частиц, находящихся в воздухе [6—8]. Если площадь города обозначить S_r , то получаем, что на город площадью S_r в среднем выпадает $Q = 500 \cdot S_r$ т пыли.

Известно, что один гектар газона связывает 12 т пыли в год. Значит, 1 км^2 площади озеленения связывает 1200 т взвешенных твердых частиц в год.

Для того чтобы на территории всего города зеленые насаждения связывали в среднем всю пыль из воздуха, требуется:

$$S_{oz} = Q : 1200 = 500S_r : 1200 = 0,42 \cdot S_r,$$

где Q — количество пыли, выпадающей на исследуемый город; S_{oz} — необходимая площадь озеленения исследуемой территории; S_r — площадь исследуемого города.

Таким образом, любой город для полноценного очищения воздуха должен иметь 42 % озеленения от общей площади города.

По рис. 1 и 2 видно, что если рассматривать все выбранные города, то они колеблются в одних и тех же пределах по населению и по площади городов, что говорит об их возможной сравнимости. Максимальная площадь озеленения относится к Екатеринбургу и Перми.

Для этого взяты крупные города с населением от 461 692 чел. (Тула) до примерно 1 536 183 чел. (Екатеринбург). Из анализа были убраны два мегаполиса — Москва и Санкт-Петербург — с населением, превышающим все остальные города примерно в девять раз. Отслежена динамика роста населения по всем городам за последние десять лет: только в двух городах из 38 население убывает на 2 %; во всех остальных 36 городах население прибавилось на 1...35 %, что говорит о резком увеличении городского населения. Самое резкое увеличение населения произошло за это десятилетие в Воронеже, Тюмени и Махачкале.

Для всех городов по программе QGIS определено озеленение на уровне планировочной отметки земли. Поскольку ВОЗ утверждает, что нет разрешенных минимальной и максимальной границ запыленности, то можно считать, что любое запыление вредит здоровью горожан.

Поскольку в данном исследовании предложено дополнительное компенсационное озеленение на других уровнях, то подсчитано, что, добавив только один дополнительный уровень озеленения — озеленение крыш, получаем

дополнительно не только дополнительную прямую площадь озеленения, но и дополнительный объем вырабатываемого кислорода, необходимого для городского жителя, а порой и энное количество спасенных жизней.



Рис. 1. Площади городов России на 2024 г.



Рис. 2. Площади озеленения городов России, км²

Во всех городах России примерно приходится на 1 чел. 250 м² озеленения, что соответствует выработке кислорода в 250 г. Взрослый человек в состоянии покоя потребляет примерно 20...30 л кислорода, что по весу соответствует 0,7 кг в час, т. е. 700 г/ч.

По программе QGIS подсчитаны площади всех плоских крыш, исключая исторические здания, здания архитектурного наследия, храмы, соборы и другие религиозные сооружения. Площади остальных зданий с плоскими крышами указаны на рис. 3.



Рис. 3. Площади зданий в городах России с плоскими крышами, км²

Этот график показывает, что озеленение крыш добавляет компенсационное озеленение в размере от 6 до 60 % по сравнению с имеющимся озеленением города на уровне планировочной отметки земли. Нет прямой зависимости площади города, плотности населения и общего количества проживающих в городе от площади озеленения. Кроме общего принципа проектирования, в данном конкретном городе эта площадь зависит от количества дорожных сетей, в большей степени — от количества построенных и строящихся зданий и сооружений, площадей, занятых под инженерные коммуникации города и многих других мелких факторов. В данном случае не рассматриваются те территории, где зеленые насаждения невозможны — территории вечной мерзлоты и области, где температура теплого периода неизмеримо меньше остальной части календарного года.

Но говорить о невозможности озеленения на территории вечной мерзлоты нельзя. В рамках экологического проекта в Якутии «Зеленый четверг» проводится озеленение территорий с учетом специфики арктической климатической зоны, где в период длинного периода зимы температура может снижаться до $-67,7^{\circ}\text{C}$, а в период короткого лета температура нагревается до максимальных $+34,6^{\circ}\text{C}$ при количестве осадков в 150...220 мм/г¹. Поэтому разработку дополнительного озеленения можно сделать и на территории вечной мерзлоты с учетом разработки специальных мероприятий по выбору морозостойких кустарников и стелящихся по грунту растений [9].

¹ URL: <https://gtrksakha.ru/news/2025/08/21/ozelenenie-na-vechnoj-merzlote-v-yakutske-nachnyot-rabotat-spectehnika-dlya-peresadki-krupnyh-derev>.

По рис. 1—3 видно, что на данный момент ни один из российских городов этого не имеет. К решению этой задачи можно привлечь применение технологии «зеленой» крыши. Площадь плоских крыш в крупных городах России составляет примерно 5...7 % в зависимости от величины города. Чем меньше город, тем больше процент зданий средней этажности с плоскими крышами.

В качестве примера возьмем Рязань. На данный момент площадь города составляет 224 км². Площадь озеленения 63,83 км². Требуемая по указанной выше формуле площадь озеленения 94 км². Площадь, занимаемая зданиями средней этажности и многоэтажных зданий с плоскими крышами, составляет 9,9 км². Значит, из недостающих 30 км² треть можно добавить «зелеными» крышами, а часть — озеленением на планировочной отметке земли, «зелеными» фасадами и защитной вертикальной «зеленой» системой.

Поскольку зеленые насаждения на крышах зданий могут в том числе рассматриваться для уменьшения концентрации пыли в воздухе, необходимо, чтобы взвешенные частицы РМ, которые попадают на область крыши, оставались внутри объема озеленения и не уносились ветром на другие области. Для этого можно использовать защитные вертикальные «зеленые» системы.

В ГОСТ Р 58875—2020 «„Зеленые“ стандарты. Озеленяемые и эксплуатируемые крыши зданий и сооружений. Технические и экологические требования» в п. 6.1 указано, что необходимо предусматривать «мероприятия по обеспечению защиты от падения с высоты», но не указано, какие именно мероприятия. Можно предложить следующие мероприятия по обеспечению безопасности на крыше и защите растений и людей от ветрового воздействия:

1. Необходимо создание искусственного металлического ограждения в виде сетчатой конструкции высотой 1,2 м для любых гражданских зданий и 1,8 м для зданий с возможным нахождением детей до 14 лет.

2. Для защиты области крыши с зелеными насаждениями от ветрового воздействия возможна посадка вдоль ограждения по всему контуру эксплуатируемой и неэксплуатируемой крыши растений выше размера ограждения.

Таким растением может быть, например, мискантус (*Miscanthus*) различных типов: Монинг Лайт (*Morning Light*), Малепартус (*Malepartus*), Ред Чив (*Red Chief*) и другие морозостойкие тростниковые растения. Их морозостойкость колеблется от –29 до –40 °С. Они выделяют больше кислорода, чем другие лесные растения, имеют высоту 1,5...2 м и быстро размножаются. Их высота даст возможность задержки пылевых взвешенных частиц РМ внутри области с зелеными насаждениями на крышах.

Возможность использования технологии «зеленой» крыши на территории вечной мерзлоты в России

В регионах с вечной мерзлотой почва имеет характерное двухслойное строение. Верхний активный слой достигает глубины до двух метров и подвержен сезонным изменениям: он оттаивает в теплое время года и вновь промерзает зимой. Непосредственно под ним находится постоянно замороженный слой, известный как вечная мерзлота² (рис. 4).

По карте на рис. 5 видно, что территории вечной мерзлоты в России занимают более половины площади страны.

² URL: <https://www.nrdc.org/stories/permafrost-everything-you-need-know>.

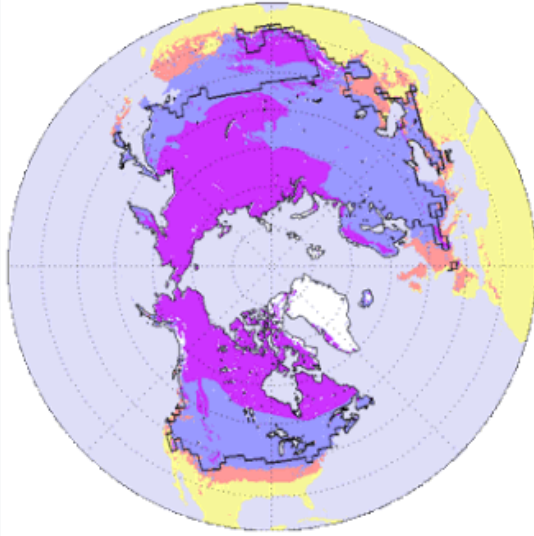


Рис. 4. Территории вечной мерзлоты в мире: фиолетовый — многолетняя мерзлота в Северном полушарии; синий — промерзание почвы более 15 сут в году; оранжевый — промерзание почвы менее 15 сут в году; сплошная линия — граница области сезонного снежного покрова



Рис. 5. Карта России с областями вечной мерзлоты³

Особенностью территорий вечной мерзлоты являются в первую очередь редкие жилища и большие пространства природных насаждений. Поэтому на этих территориях важнее восстановление природных лесных территорий и природного озеленения, чем создание новых компенсационных областей озеленения на крышах зданий [10—12]

³ URL: https://vk.com/wall-32176202_1145016.

Исследователями Арктики обычно рассматривается не просто возможность и необходимость озеленения как компенсации потерянного покрова земли, но взаимодействие и влияние климата (в частности, глобального потепления) на почвенный покров.

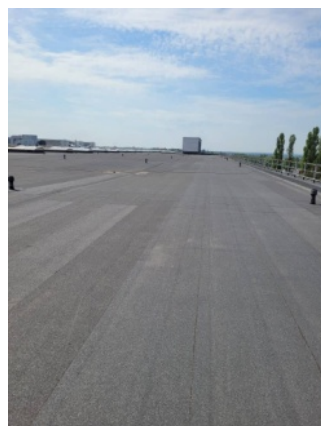
В этой связи интересно рассматривать такие крупные города, как Мурманск, Анадырь (неофициально — Чукотка), Петрозаводск, Сортавала, Кондопога и Кемь (Республика Карелия), Воркута (Республика Коми), Якутск, Мирный, Верхоянск и Ленск (Республика Саха — Якутия), Норильск, Архангельск и др.

В крупных городах, где природный почвенный покров нарушен из-за строительства зданий и дорог, проблемы с экологическим загрязнением воздуха остаются одинаковыми, как и по всей стране. Например, в 2023 г. в Петрозаводске, по данным ФБУ здравоохранения «Центр гигиены и эпидемиологии в Республике Карелия», зарегистрировано превышение уровня концентрации РМ-частиц в воздухе из-за длительного отсутствия уборки улиц от дорожной пыли и песка⁴ [13].

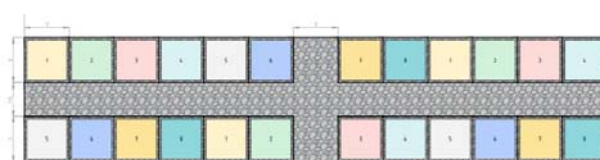
Несмотря на короткие летние периоды и длинные зимы, эти городские территории также пригодны для посадок растений на уровне крыши, так как они будут в основном работать именно в летние короткие месяцы, а в зимние — сохранять температуру и целостность крыши.

Экспериментальные исследования «зеленой» крыши на примере здания в Рязани

В Рязани в 2025 г. начато масштабное исследование свойств и возможностей «зеленой» крыши на территории корпуса компании «Технониколь» в районе Восточного Промышленного узла, 21 (рис. 6 и 7).



а



б

Рис. 6. Экспериментальная территория в Рязани до установки «зеленой» крыши:

а — крыша на территории компании «Технониколь» в 2025 г. до установки озеленения;

б — схема экспериментальной деланки на территории компании «Технониколь» в 2025 г.

⁴ URL: <https://cge.onego.ru/news/744>.



Рис. 7. Экспериментальная «зеленая» крыша в Рязани в июне — октябре 2025 г.:
a — июнь 2025 г.; *б* — октябрь 2025 г.

В 2025 г. была установлена метеостанция RS485, 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 ветра, температуры, осадков и атмосферного давления. В 2026 г. установлена вторая станция внутри области озелененной крыши, которая даст возможность сравнения концентрации взвешенных частиц $PM_{2,5}$ и PM_{10} вне озеленения и на самой крыше. Летом 2026 г. планируется высадка высоких травянистых кустарников, которые будут защищать территорию, концентрируя пылевые частицы внутри области озеленения.

Выводы:

1. Увеличение темпов миграции сельских жителей в города, увеличение темпов строительства зданий и дорожных покрытий приводят к резкому увеличению концентрации взвешенных частиц $PM_{2,5}$ и PM_{10} в воздухе.

2. Поскольку действующие нормативные документы по озеленению не дают точных формул и цифр по площади или проценту озеленения, не учитывается озеленение на уровне крыш, то предлагается для определения необходимой площади озеленения городских территорий исходить из весового количества пыли, которое могут связывать зеленые насаждения.

3. Определено, что для полноценного очищения воздуха город должен иметь 42 % озеленения от своей общей площади.

4. Предложено дополнительное компенсационное озеленение и подсчитано, что, добавив только один дополнительный уровень озеленения — озеленение крыш, получаем дополнительно не только дополнительную прямую площадь озеленения, но и дополнительный объем вырабатываемого кислорода, необходимого для городского жителя, а порой и энное количество спасенных жизней.

5. Проанализированы результаты исследования возможных площадей озеленения городов с учетом «зеленых» крыш и выявлено, что с учетом компенсационного озеленения добавится примерно 9...42 % озеленения городской среды.

6. Исследования карты, климата и характеристик территорий вечной мерзлоты показали, что внутри крупных городов с наибольшей необходимостью уменьшения концентрации пылевых частиц в воздухе есть не только необходимость, но и возможность посадки растений на крышах зданий и сооружений, что сконцентрирует и остановит пылевые частицы. При этом

территории вечной мерзлоты в наименьшей степени по месяцам будут использовать эти системы, так как летний период на этих территориях самый короткий.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Трегубов В. Н.* Динамика численности городского и сельского населения, проживавшего с 2002 по 2020 г. В частных домохозяйствах по одному человеку // Социальные аспекты здоровья населения. 2024. Т. 70. № 2. DOI: 10.21045/2071-5021-2024-70-2-11. EDN: KPXYUB.
2. *Minenko A. V., Vodyasov P. V.* State regulation of the preservation and sustainable development of rural areas // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Krasnoyarsk : IOP Publishing Ltd, 2022. P. 022008. DOI: 10.1088/1755-1315/981/2/022008. EDN: IKSIFYR.
3. *Merkulova E. Y., Cheremisina N. V., Cheremisina T. N.* Characteristics of convergence processes of urban and rural population of Russia // Overcoming Uncertainty of Institutional Environment as a Tool of Global Crisis Management. Contributions to Economics / Eds. E. Popkova. Springer, Cham, 2017. Pp. 191—197. DOI: 10.1007/978-3-319-60696-5_23. EDN: IECKDP.
4. Facing an Unequal World: Challenges for Global Sociology : XVIII ISA World Congress of Sociology, Yokohama, Japan, July 13—19, 2014. Yokohama, Japan : International Sociological Association, 2014. 1182 p. EDN: TTZINF.
5. *Guégan J. F., Poisot T., Han B. A., Olivero J.* Disease ecology and pathogeography: changing the focus to better interpret and anticipate complex environment-host-pathogen interactions // Ecography. 2024. Vol. 2024. Iss. 10. DOI: 10.1111/ecog.07684. EDN: WPTVFFV.
6. *Жумадилова А. Ж.* Пылеудерживающая способность древесных и кустарниковых растений // Новости науки Казахстана. 2014. № 2(120). С. 38—48. EDN: XUFDJR.
7. *Qadr R., Al-Jumaily H., Al-Talabany M.* Assessment of environmental and health risks of toxic heavy elements in the dust falling on different areas of Kirkuk // Iraqi Geological Journal. 2023. Vol. 56. Iss. 2F. Pp. 110—120. DOI: 10.46717/igj.56.2f.7ms-2023-12-13. EDN: ZWFNUW.
8. Sources, distribution, and health implications of heavy metals in street dust across industrial, capital city, and peri-urban areas of Bangladesh / Md. S. Rana, Q. Wang, W. Wang et al. // Atmosphere. 2024. Vol. 15. Iss. 9. P. 1088. DOI: 10.3390/atmos15091088. EDN: LWGWFS.
9. *Егоров А. Н., Стоумов С. И.* Систематизация показателей зеленого строительства на новых арктических территориях // Инженер. вестн. Дона. 2024. № 11(119). С. 54—71. EDN: JXZFZT.
10. Глобальные изменения климата и почвенный покров / В. Н. Кудеяров, В. А. Демкин, Д. А. Гиличинский и др. // Почвоведение. 2009. № 9. С. 1027—1042. EDN: KWIGIF.
11. *Shijin W., Xiaoqing P.* Permafrost degradation services for Arctic greening // Catena. 2023. Vol. 229. P. 107209. DOI: 10.1016/j.catena.2023.107209. EDN: ZZYQNG.
12. The changing face of the Arctic: four decades of greening and implications for tundra ecosystems / G. V. Frost, U. S. Bhatt, M. J. Macander et al. // Frontiers in Environmental Science. 2025. Vol. 13. P. 1525574. DOI: 10.3389/fenvs.2025.1525574. EDN: JNTAZM.
13. *Кристи П., Зоммеркорн М.* Экспресс-оценка устойчивости арктических экосистем: методика определения и нанесения на карту водных и наземных объектов, поддерживающих функционирование экосистем Арктики в условиях изменившегося климата. М. : Всемирный фонд природы, 2014. 72 с. EDN: TAGITR.

© Сысоева Е. В., 2026

Поступила в редакцию
16.03.2026

Ссылка для цитирования:

Сысоева Е. В. Применение системы озеленения для уменьшения концентрации РМ-частиц на уровне крыш в зоне гражданских зданий // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2026. Вып. 3(104). С. 296—305. DOI: 10.35211/18154360_2026_3_296.

Об авторе:

Сысоева Елена Владимировна — канд. техн. наук, доц., доц. каф. архитектурно-строительного проектирования и физики среды, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ). Российская Федерация, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, 26; SysoevaEV@mgsu.ru

Elena V. Sysoeva

National Research Moscow State University of Civil Engineering

**APPLICATION OF A GREENING SYSTEM
TO REDUCE THE CONCENTRATION OF PM PARTICLES
AT THE ROOF LEVEL IN CIVIL BUILDINGS**

The state of the environment in the territory of the Russian Federation is deteriorating due to the increase in the urban population (mainly, migration of residents from rural areas), the need to increase the pace of construction of buildings and roads. For this reason, there is degradation of land and changes in the habitat of plants, a sharp decrease in the areas for possible restoration of green spaces.

The regulatory documents currently in force in Russia do not regulate precise formulas for the greening of urban areas, which leads to an unauthorized decrease in the amount of green space within cities.

To determine the minimum required area of green space in a city, it is proposed to consider the weight of dust that can be absorbed by green plants.

The calculations showed that there is less than the required amount of land for greening. It is proposed to use a second level of greening, such as roof greening, which can be used to create compensatory greening that can help bind dust particles and reduce the concentration of PM particles in the air. It has been estimated that there is enough land for this in any major city in Russia.

The article also describes a field experiment that was conducted in Ryazan with the help of the company "Technonicol".

Key words: green roofs, concentration of suspended particles in the air, area of greenery in the city.

For citation:

Sysoeva E. V. [Application of a greening system to reduce the concentration of PM particles at the roof level in civil buildings]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arhitektura* [Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Civil Engineering and Architecture], 2026, iss. 3, pp. 296—305. DOI: 10.35211/18154360_2026_3_296.

About author:

Elena V. Sysoeva — Candidate of Engineering Sciences, Docent, National Research Moscow State University of Civil Engineering (MGSU). 26, Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; SysoevaEV@mgsu.ru