

ВЛИЯНИЕ «ЗЕЛЕННЫХ» КРЫШ НА ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ ВОЗДУХА В КРУПНЫХ ГОРОДАХ РОССИИ

Елена Владимировна Сысоева, Евгений Леонидович Безбородов

Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ);
г. Москва, Российская Федерация

Экологическое состояние городской среды зависит от многих факторов, одним из которых является качество воздуха. Состав воздуха изменяется в зависимости от взаимного расположения здания вблизи промышленных предприятий, зданий общественного назначения, нахождения мест выброса мусора различного происхождения, расположения дорог с большим транспортным потоком. Но все эти загрязнения можно анализировать по фракционному, химическому и дисперсному составу. В зависимости от типа и состава загрязнения можно рекомендовать различные виды поддержания чистоты воздуха, одним из которых может являться наличие дополнительного компенсационного озеленения на крышах, стилобатах и фасадах зданий на территории крупных городов.

В статье представлены характеристика и классификация пылевых частиц, их влияние на организм человека.

Приведены статистические данные по изменению численности крупных городов России из-за увеличения смертности людей в результате заболеваний дыхательных путей и крови. Это напрямую связано с составом и качеством воздуха в городе, от вида жизнедеятельности людей на рассматриваемой территории.

Сделано аналитическое сравнение карт для получения прогнозирования возможности и необходимости устройства «зеленых» крыш и фасадов на территории рассматриваемых крупных городов России.

Представлены данные по увеличению количества личного транспорта в городах России, изменению плотности пылевых масс по высоте в составе города для различных видов запыленности.

В статье представлен один из вариантов решения проблемы загрязнения городских агломераций с помощью компенсационного озеленения на крышах и фасадах зданий.

Ключевые слова: экологическое состояние городской среды, концентрация пылевых масс, «зеленые» крыши, загрязнение воздуха

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

INFLUENCE OF “GREEN” ROOFS ON THE ECOLOGICAL STATE OF AIR IN MAJOR CITIES OF RUSSIA

Elena V. Sysoeva, Evgeny L. Bezborodov

Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU); Moscow, Russian Federation

The ecological state of the urban environment depends on many factors, one of which is air quality. The composition of the air varies depending on the relative location of the building near industrial enterprises, public buildings, the location of garbage disposal sites of various origins, the location of roads with a large traffic flow. But all these contaminants can be analyzed by fractional, chemical and dispersed composition. Depending on the type and composition of pollution, various types of air cleanliness maintenance can be recommended, one of which may be the presence of additional compensatory landscaping on roofs, stylobates and facades of buildings in large cities. The article presents the characteristics and classification of dust particles, their effect on the human body.

Statistical data on the change in the number of large cities in Russia due to an increase in human mortality as a result of respiratory tract and blood diseases are presented. This is directly related to the composition and quality of the air in the city, from the type of human activity in the area under consideration.

An analytical comparison of maps has been made to obtain a prediction of the possibility and necessity of installing “green” roofs and facades on the territory of the major cities of Russia under consideration. The data on the increase in the number of personal transports in Russian cities, changes in the density of dust masses in height in the composition of the city for various types of dust are presented.

The article presents one of the solutions to the problem of pollution of urban agglomerations using compensatory landscaping on roofs and facades of buildings.

Keywords: ecological state of the urban environment, concentration of dust masses, “green” roofs, air pollution

For citation: Sysoeva E.V., Bezborodov E.L. Influence of “green” roofs on the ecological state of air in major cities of Russia. Biosphere Compatibility: Man, Region, Technology. 2024; 4:52-61. DOI: 10.22227/2311-1518.2024.4.52-61 (rus.).

Введение

Улучшение экологического состояния городской среды является одним из самых важных направлений государственной политики, что записано в Экологической Доктрине Российской Федерации, одобренной распоряжением Правительства РФ № 1225-р от 31 августа 2002 года¹, и в Федеральном законе². «Дальнейшая деградация природных систем ведет к дестабилизации биосферы, утрате ее целостности и способности поддерживать качества окружающей среды, необходимые для жизни. Преодоление кризиса возможно только на основе формирования нового типа взаимоотношений человека и природы, исключающих возможность разрушения и деградации природной среды», как сказано в Доктрине¹.

В Стратегии экологической безопасности Российской Федерации³ сказано, что экологическое состояние Российской Федерации оценивается как неблагоприятное по многим параметрам. Ухудшается состояние здоровья людей, особенно тех, кто проживает в городских агломерациях.

Население на территории России распределяется крайне неравномерно. Согласно данным Росстата, по результатам Всероссийской переписи населения 2020 г. на 1 октября 2021 г. из 1117 российских городов население более 100 000 человек имели 172 города. При этом городское население России составляет 75,1, а сельское 25,26 % на 2023 г. Несмотря на первый естественный прирост населения в 1991 г., составивший 22 700 человек, общая тенденция по уменьшению численности населения России все еще сохраняется. При этом большую часть территории страны занимают города с населением свыше 250 000 человек до 1 000 000 человек, т.е. крупные города по СП 42.13330.2016⁴; городов с численностью от 250 000 до 500 000 чел. в России 41 (рис. 1), а с населением свыше 500 000 до 1 млн чел. всего 22 (рис. 2).

По рис. 1 и 2 видно, что все крупные города сконцентрированы в западной, юго-западной и южной частях Российской Федерации. Плотность населения в этих городах самая высокая по сравнению со всей территорией страны (рис. 3).

Такая же ситуация, по данным Росстата, происходит и с показателями рождаемости и смертности



Рис. 1. Карта России с указанием городов с населением от 250 000 до 500 тыс. (по состоянию на 2021 г.)⁵

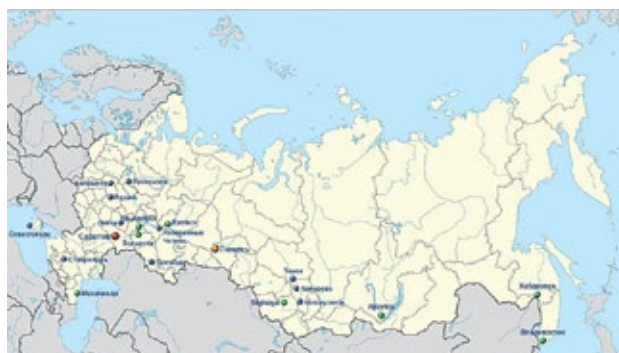


Рис. 2. Карта России с указанием городов с населением от 500 тыс. до 1 млн чел. (по состоянию на 2021 г.)⁶

(рис. 4). С 2016 по 2021 г. рождаемость в России резко понизилась, в то время как смертность продолжает повышаться (рис. 4). Естественный прирост населения России в 1,7 раза меньше числа умерших в последние 5 лет.

В связи с этим Стратегия экологической безопасности Российской Федерации³ определяет цели государственной политики для обеспечения экологической безопасности. Это — «сохранение и восстановление природной среды, обеспечение качества окружающей среды, необходимого для благоприятной жизни человека и устойчивого развития экономики, ликвидация накопленного вреда окружающей среде вследствие хозяйственной и иной деятельности в условиях возрастающей экономической активности и глобальных изменений климата».

Большую роль в сохранении или ухудшении экологической безопасности крупных городов играет обеспеченность легковыми автомобилями в России. По приведенной карте видно, что при средней обеспеченности легковыми автомобилями в 315 шт.

¹ URL: https://www.mid.ru/ru/foreign_policy/official_documents/1688732/

² Об основах технического регулирования в РФ : Федеральный закон № 184-ФЗ от 27 декабря 2002 года (редакция от 02 июля 2021 года).

³ О Стратегии экологической безопасности Российской Федерации на период до 2025 года : Указ Президента Российской Федерации от 19.04.2017 г. № 176.

⁴ СП 42.13330.2016. Градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских поселений.

⁵ URL: <http://www.statdata.ru/karta/krupnye-goroda-rossii>

⁶ URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%93%D0%BE%D1%80%D0%BE%D0%B4%D0%B0_%D0%A0%D0%BE%D1%81%D1%81%D0%B8%D0%B8_%D1%81_%D0%BD%D0%B0%D1%81%D0%B5%D0%BB%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B5%D0%BC_%D0%B1%D0%BE%D0%BB%D0%B5%D0%B5_500_%D1%82%D1%8B%D1%81%D1%8F%D1%87_%D1%87%D0%B5%D0%BB%D0%BE%D0%B2%D0%B5%D0%BA



Рис. 3. Плотность населения России по субъектам Федерации на 1 января 2020 года, чел. на 1 кв. км⁷

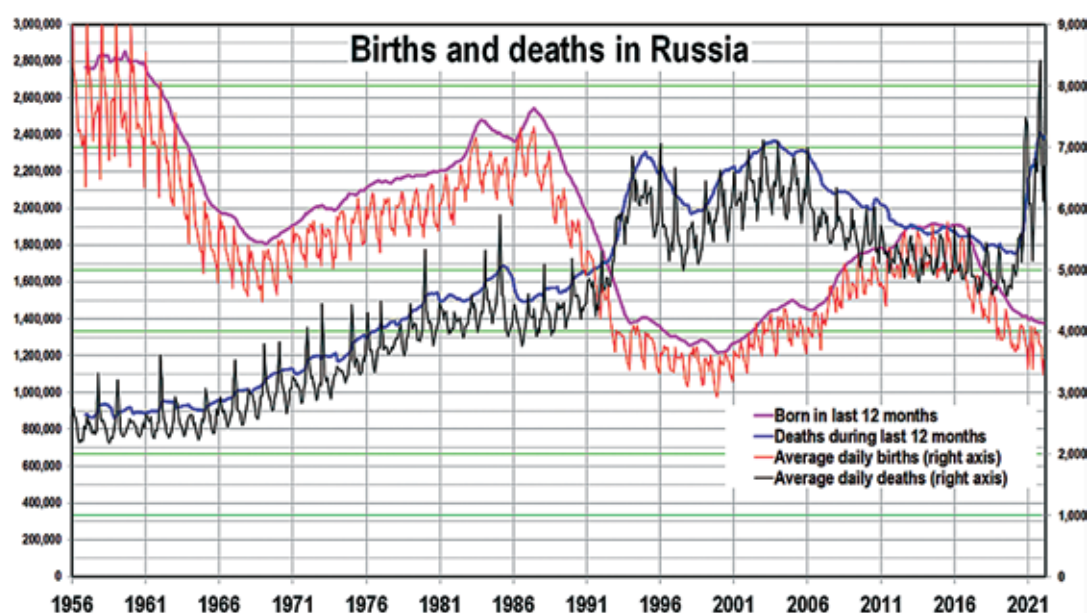


Рис. 4. Данные о рождаемости и смертности в России за январь 1956 – февраль 2022 г. по месяцам⁸

на 1000 человек в крупных городах она в 1,2 раза выше (рис. 5). При этом замечается значительный рост личных автомобилей на семью в стране.

⁷ URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D0%BB%D0%BE%D1%82%D0%BD%D0%BE%D1%81%D1%82%D1%8C_%D0%BD%D0%B0%D1%81%D0%B5%D0%BB%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D1%8F_%D1%81%D1%83%D0%B1%D1%8A%D0%B5%D0%BA%D1%82%D0%BE%D0%B2_%D0%A0%D0%BE%D1%81%D1%81%D0%B8%D0%B9%D1%81%D0%BA%D0%BE%D0%B9_%D0%A4%D0%B5%D0%B4%D0%B5%D1%80%D0%B0%D1%86%D0%B8%D0%B8

⁸ Rickky1409. URL: [https://commons.wikimedia.org/wiki/User_talk:Rickky1409#File:Russian_population_\(demographic\)_pyramid_\(structure\)_on_January_1st_2022.png](https://commons.wikimedia.org/wiki/User_talk:Rickky1409#File:Russian_population_(demographic)_pyramid_(structure)_on_January_1st_2022.png)

Характеристика, свойства пыли и ее влияние на здоровье человека

Критериями экологической безопасности городской среды являются сохранность и разнообразие видов, их взаимосвязей, сохранение здоровья и условий жизнедеятельности и сохранения работоспособности до глубокой старости. Одним из самых важных критериев безопасности города является поддержание ниже предельно допустимой концентрации (ПДК) пылевых частиц [1].

Пыль присутствует в воздухе везде и всегда повсеместно. Пыль имеет органическое или мине-



Рис. 5. Обеспеченность легковыми автомобилями в России⁹

ральное происхождение. Химический и минералогический состав пыли зависит от свойств рассматриваемой территории, находящихся на ней промышленных и других предприятий, климатических характеристик (направление ветра, температурный режим и прочее), физиологического процесса территории и многих других факторов. Фракционный состав мелких твердых взвешенных частиц, находящихся в воздухе, относят к пылевым частицам, рассматривают от доли микрона (1 мкм = 0,005 мм) до максимального значения в 0,05 мм. Если частицы имеют размер больше 0,14 мм, то их называют песком различной фракции. Промежуточные значения диаметром от 0,05 до 0,14 мм называют пылеватым песком⁹.

В настоящей статье рассматриваются только взвешенные частицы размером 1, 2,5, 5 и 10 мкм.

Плотность взвешенных пылевых частиц в атмосфере меняется с высотой и во времени в результате их стохастического движения. На высоте 2–4 м от поверхности земли плотность пылевых частиц вне зависимости от их происхождения стабилизируется и находится примерно на одном и том же уровне (рис. 6). Поэтому максимальная запыленность определяется во многих случаях на высоте 1,5 м от уровня дорог и поверхности земли.

⁹ АВТОСТАТ. Данные на 01.01.2023 г. URL: <https://www.autostat.ru/infographics/54512/>

Концентрация пыли в нижних слоях атмосферы увеличивается в осенний период и в начале зимнего периода года. Летом сильные восходящие потоки воздуха поднимают пыль из нижних слоев атмосферы в верхние, вследствие чего запыленность нижних слоев уменьшается.

Знание изменений концентраций пыли по высоте позволяет выбрать необходимую методику для возможности уменьшения плотности взвешенных

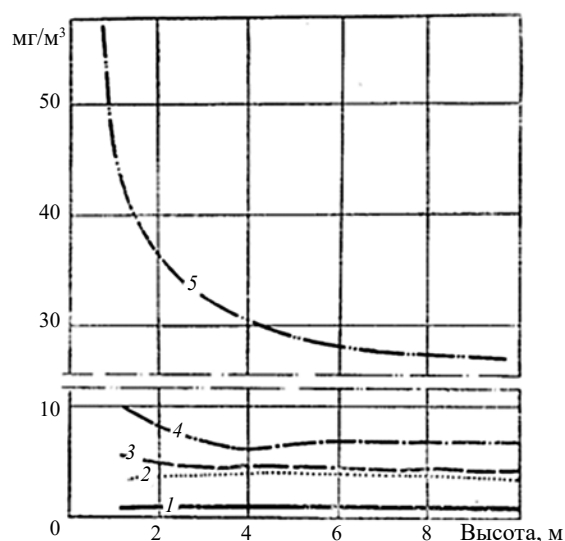


Рис. 6. Изменение плотности пылевых масс по высоте для различных видов запыленности воздуха: 1 — обычная; 2 — промышленная (дым); 3 — мгла; 4 — транспортная; 5 — пыльные бури [2]

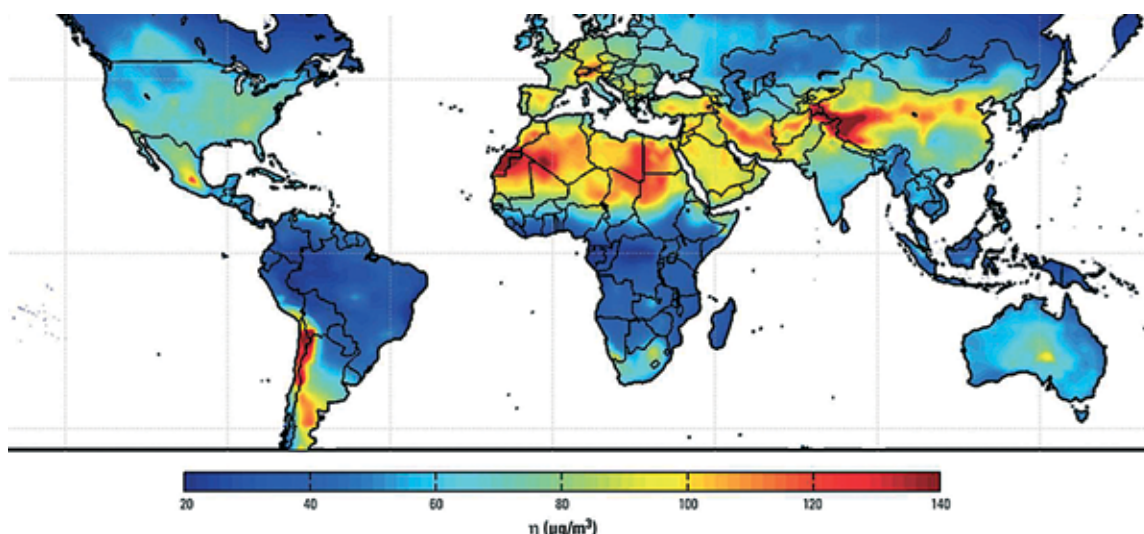


Рис. 7. Карта концентрации и распределения вредных для здоровья людей пылинок¹⁰

частиц в воздухе на территориях с различными климатическими характеристиками (температурный режим, наличие вулканов и землетрясений и другое), различным химическим и минералогическим составом [3].

Количество пыли в воздухе оказывает влияние не только на состояние городской среды, но и на климат планеты в целом:

1. Частицы пыли поглощают часть солнечной радиации. Ученые доказали, что пыль и антропогенное загрязнение воздуха значительно снижают эффективность солнечных электростанций из-за рассеяния солнечной энергии.

2. Солнечная радиация также важна и для здоровья людей. Ее избыточное количество приводит к заболеваниям так же, как и ее недостаток.

3. Солнечная радиация играет важную роль в процессе фотосинтеза растений, обеспечивая тепло и свет для живых организмов, влияет на образование витамина *D* в организмах людей.

4. Пыль поглощает солнечную энергию и приводит к серьезным климатическим изменениям.

Пыль имеет органическое или минеральное происхождение. К пыли относят частицы диаметром более долей микрона и до максимального размера в 0,05 мм. Чаще всего пыль, поднимаясь в воздухе, заряжается положительно.

Атмосферная аэрозоль имеет происхождение двух типов: искусственное и естественное.

Естественная атмосферная пыль образуется при помощи хаотичного движения космической пыли, пыли от почвы, пыльцы растений, извержения вулканов в виде пепла, пыли из кристаллов морской соли и высохших водяных брызг и другого.

Искусственная атмосферная пыль образуется в результате хозяйственной деятельности человека.

Организм человека не способен самостоятельно отфильтровать пыль, ставя ей преграды. Частицы размером менее 2,5 мкм свободно проходят через дыхательные пути, попадая в кровеносную систему и легкие.

В 2010 г. канадские ученые опубликовали в журнале *Environmental Health Perspectives* карту концентрации и распределения пылинок, которые могут представлять опасность для здоровья человека (рис. 7).

Для получения данных они использовали спутниковые данные. Наиболее загрязненными и опасными для здоровья человека названы территории Северной Африки и Малой Азии. А самым опасным регионом названа территория на севере Китая, которая известна, в том числе, утренним смогом.

Западная, юго-западная и южная части России, которые были проанализированы выше, попадают в среднюю плотность загрязненности пылевыми массами, что тем не менее не может не настораживать, так как эта величина во многих городах России превышает норму допустимых значений или граничит с ней.

Размер пылевидных частиц по ГОСТ Р 56929¹¹ колеблется от 0,1 до 250 мкм. Диапазон допустимой концентрации пыли в мг/м³ от 0,2 до 100 мг/м³.

СанПиН 1.2.3685–21¹² установил три норматива по каждому загрязняющему веществу в воздухе: максимальная разовая предельно-допустимая концентрация (ПДК), которая не оказывает негативного воздействия на здоровье человека в течение 30 мин;

¹¹ ГОСТ Р 56929–2016. Выбросы загрязняющих веществ в атмосферу. Исследование фракционного состава пыли оптическим методом при нормировании качества атмосферного воздуха.

¹² СанПиН 1.2.3685–21. Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания.

¹⁰ URL: https://www.m24.ru/articles/nauka/21052015/73988?utm_source=CopyBuf



Рис. 8. Экологическая пирамида состояния городской среды

среднесуточная ПДК, не оказывающая отрицательного воздействия на организм человека в течение суток, и среднегодовая ПДК, которая не оказывает воздействие на здоровье человека в течение 1 года.

Основными факторами загрязнения городской окружающей среды является загрязнение воздушного бассейна города, водного бассейна и почвы [4].

Для определения балльного показателя выделяют 7 уровней экологического состояния городской среды. Все эти ступени образуют «экологическую пирамиду» [5] (рис. 8).

В соответствии с данными Росстата, одним из важных факторов деградации городской окружающей среды является загрязнение воздушного бассейна городов.

Проблему влияния на городскую среду автомобильного транспорта исследовали такие ученые, как А.А. Дементьев, А.М. Цурган, Н.В. Чудинин, Д.А. Соловьев, М.А. Пинигин, В.Ф. Сидоренко, А.В. Антюфеев, В.В. Балакин [6], ученые В.Б. Заа-лишвили, А.С. Кануков, К.В. Корбесова, М.В. Майсурадзе занимались вопросами интегральной оценки от различных источников [7], Н.В. Каргаполов, А.Л. Рафаилова занимались этой проблемой на примере г. Москвы [8, 9] и многие другие.

Проблема сохранения качества атмосферного воздуха становится одной из самых главных для поддержания здоровья и благополучия городского населения с учетом высоких темпов автомобилизации населения (рис. 9, 10). Вопросы, касающиеся оценки влияния автомобильного транспорта на экологическую безопасность городской среды,

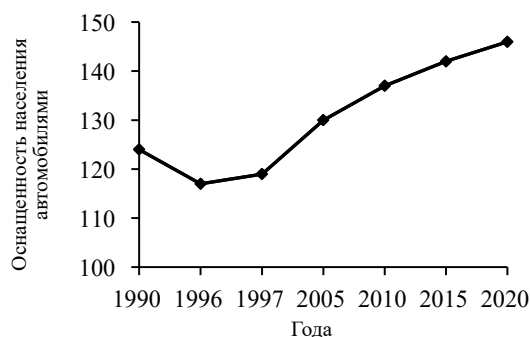


Рис. 9. Оснащенность населения мира автомобилями в период 1990–2020 гг., авт./1000 чел.¹³

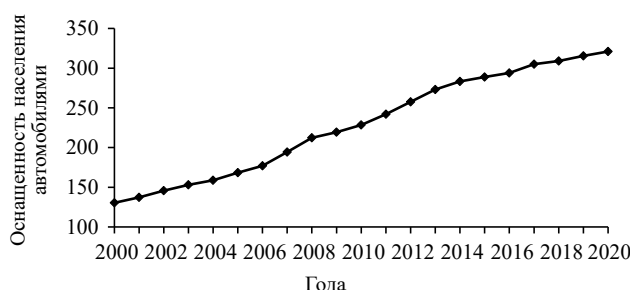


Рис. 10. Оснащенность населения Российской Федерации автомобилями в период 2000–2020 гг., авт./1000 чел.¹⁴

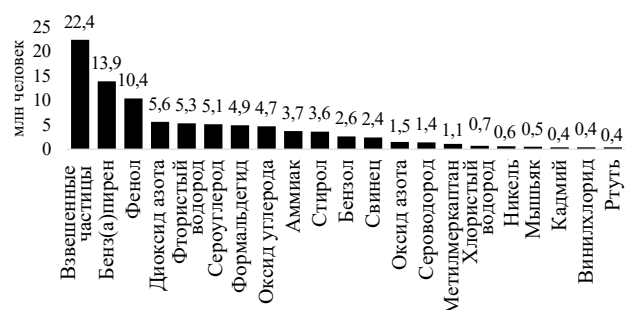


Рис. 11. Численность городского населения по оценке 100 городов России, проживающего на территориях с повышенным уровнем загрязнения атмосферного воздуха некоторыми вредными веществами [16]

широко и глубоко отображены в научных трудах Н.В. Бакаевой, М.В. Графкиной, Н.В. Невмержицкого, И.И. Косиновой, А.А. Соболева, Т.В. Германовой и других [10–15].

Одним из самых опасных токсических веществ, которые вырабатываются в процессе работы автотранспорта, являются взвешенные частицы. Именно они представляют наибольшую угрозу для здоровья населения, влияя не просто на экологическую безопасность воздушного бассейна городов, но и на продолжительность и качество жизни горожан (рис. 11).

¹³ URL: <https://www.eia.gov/outlooks/ieo/index.php> (дата обращения: 29.09.2024).

¹⁴ URL: <https://rosstat.gov.ru/folder/23455?print=1> (дата обращения: 29.09.2024).

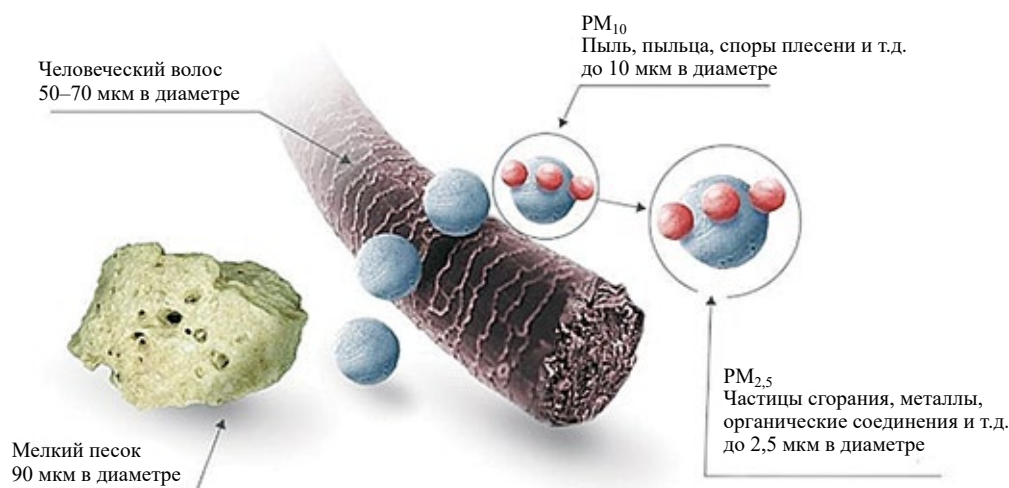


Рис. 12. Сравнительная характеристика частиц $PM_{2,5}$ и PM_{10} с человеческим волосом

Фундаментальными исследованиями по изучению вопросов пылевого загрязнения воздуха, методов оценки концентрации загрязняющих веществ, возможности снижения их плотности в воздухе занимались и продолжают заниматься такие ученые, как А.В. Азаров, В.Н. Азаров, М.Е. Берлянд, Е.Л. Генихович, М.И. Юдин, Д.Л. Лайхтман, Р.И. Оникул, Е.А. Яковлева, Л.С. Ивлев и другие, а также ряд зарубежных исследователей, таких как J.H. Seinfeld, S.N. Pandis [17], O.G. Sutton, Z. Samaras, L. Ntziachristos и другие.

Проблемами загрязнения воздуха занимались с разных точек зрения многие ученые, но к настоящему моменту нет многокомпонентной методики уменьшения загрязнения с помощью «зеленых» крыш домов, стилобатов как дополнительного компенсационного озеленения.

Классификация пылевых частиц

По происхождению пыль делят на органическую (растительная, животная, полимерная), неорганическую (минеральная и металлическая) и смешанную (например, каменноугольная пыль).

По размеру частиц (дисперсности) различают пыль размером более 10 мкм, т.е. видимую; микро-



Рис. 13. Размеры частиц пыли в воздухе

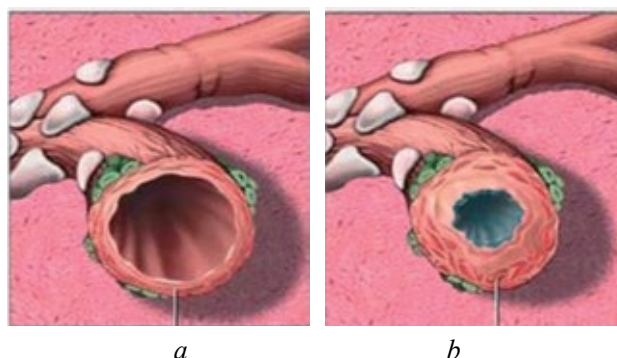


Рис. 14. Разрастание соединительной ткани легких человека: а — нормальное состояние; б — разрастание легкого

скопическую — от 0,25 до 10 мкм и ультрамикроскопическую — менее 0,25 мкм (рис. 12, 13).

Размеры частиц определяют скорость их оседания. Мельчайшие частицы размером 0,01–0,1 мкм могут находиться в воздухе длительное время в состоянии броуновского движения, что чрезвычайно опасно для здоровья человека (рис. 14).

Влияние пылевых частиц на здоровье человека

Первостепенное значение для оценки влияния пылевых частиц на здоровье человека имеет минеральный состав пыли. Например, от концентрации диоксида кремния SiO_2 зависит степень фиброгенного действия пыли, при котором в легких человека происходит разрастание соединительной ткани, нарушающей нормальное функционирование организма.

По распространенности на планете диоксид кремния занимает второе место после кислорода, т.е. может присутствовать повсеместно как в городе, так и вне городской среды.

В легкие во время дыхания может проникать пыль размером от 0,2 до 5 мкм. Частицы фракций более 5 мкм задерживаются в верхних дыхательных

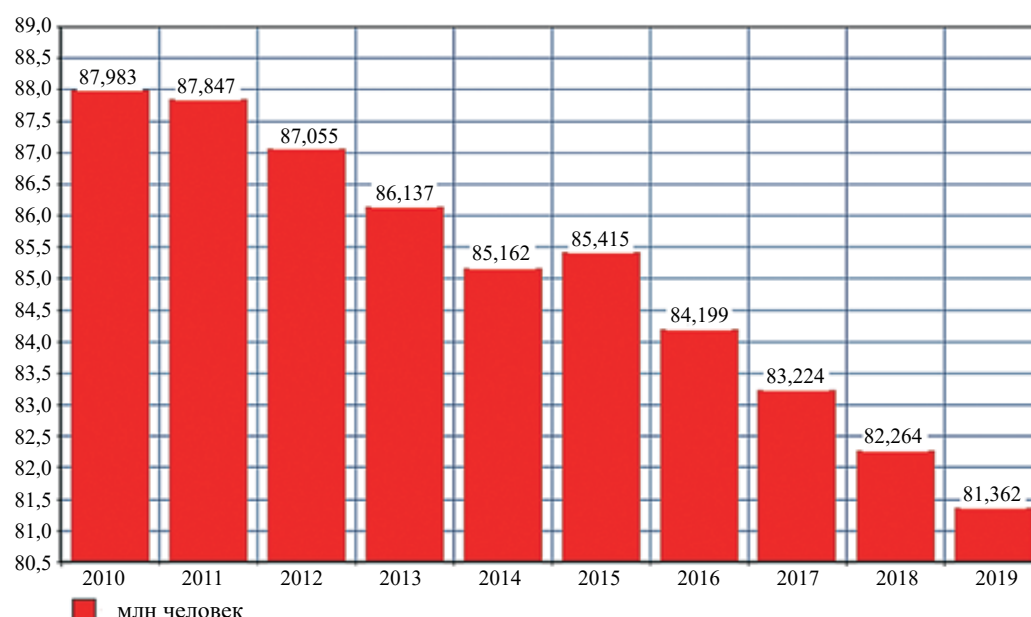


Рис. 15. Численность работоспособного населения России с 2010 по 2019 г.¹⁵

путях. Крупные частицы удаляются из организма под влиянием мерцательных движений ресничек и слизи.

Пыль с частицами меньше чем 5 мкм наиболее опасна, так как попадает в глубокие отделы легких (вплоть до альвеол), часть этой пыли может выделяться с кашлем, но часть задерживается там и вызывает патологические процессы [18, 19].

Всемирная организация здравоохранения (ВОЗ) утверждает, что в среднем 7 % сердечных приступов в мире связано с загрязненностью воздуха подобной пылью. В России это число составляет 10 498 604 человек. Значит, каждый 14 человек умирает или получает сердечный приступ. А снижение этой загрязненности на 10 мг на 1 м³ на 2 % уменьшает риск смерти местных жителей от сердечных приступов. Несмотря на то, что процентное количество кажется ничтожным, в пересчете на количество человек оно ощутимо, и это является ярким подтверждением негативного влияния пыли на здоровье горожан [20–24].

Вариант решения проблемы загрязненности городских агломераций

Компенсационное озеленение на территориях средних и крупных городов с массовым строительством и увеличивающейся плотностью трафика на дорогах является одним из решений вопроса загряз-

ненности городских агломераций. Известная поглощательная способность деревьями и кустарниками отработанных газов поможет сохранить и восстановить состав воздуха на придомной и внутридворовой территории в крупных городах, понизить температуру «теплового острова» на территории города, уменьшить нагрузку на систему стока дождевой воды.

Для этого предлагается не только дополнить озеленение на уровне земли, но и использовать по возможности покрытие стилобатов и крыш домов до третьего этажа включительно, а также озеленение фасадов, используя, в том числе, модульное озеленение.

Проведенные статистические, аналитические и лабораторные исследования различных авторов [25–27] показали, что озелененные крыши и фасады зданий могут удерживать до 85 % дождевой влаги, не уменьшают свои теплозащитные свойства в зимний период года. Кроме того, они поглощают мелкодисперсные частицы от РМ₁ до РМ₅, которые оседают в легких горожан и приводят к сложным и трудноизлечимым болезням.

Выводы

1. Крупные города России занимают южную и юго-западную часть России с самой большой плотностью населения по сравнению со всей территорией России.

2. Большие и средние города России с населением от 50 000 до 250 000 человек стремятся к статусу крупных городов, что, кроме некоторых новых возможностей (как возможности новых инвестиций, строительство метрополитена и другое), приводит к увеличению нагрузки на транспорт, загрязненности

¹⁵ URL: [https://ruxpert.ru/%D0%A4%D0%B0%D0%B9%D0%BB:%D0%A7%D0%B8%D1%81%D0%BB%D0%B5%D0%BD%D0%BD%D0%BE%D1%81%D1%82%D1%8C_%D1%82%D1%80%D1%83%D0%B4%D0%BE%D1%81%D0%BF%D0%BE%D1%81%D0%BE%D0%B1%D0%BD%D0%BE%D0%B3%D0%BE_%D0%BD%D0%B0%D1%81%D0%B5%D0%BB%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D1%8F_%D0%A0%D0%BE%D1%81%D1%81%D0%B8%D0%B8_\(2010-%D0%B5\).png](https://ruxpert.ru/%D0%A4%D0%B0%D0%B9%D0%BB:%D0%A7%D0%B8%D1%81%D0%BB%D0%B5%D0%BD%D0%BD%D0%BE%D1%81%D1%82%D1%8C_%D1%82%D1%80%D1%83%D0%B4%D0%BE%D1%81%D0%BF%D0%BE%D1%81%D0%BE%D0%B1%D0%BD%D0%BE%D0%B3%D0%BE_%D0%BD%D0%B0%D1%81%D0%B5%D0%BB%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D1%8F_%D0%A0%D0%BE%D1%81%D1%81%D0%B8%D0%B8_(2010-%D0%B5).png)

города, ухудшению экологического состояния воздуха и воды, а в результате — ухудшению здоровья и уменьшению продолжительности жизни горожан.

3. Увеличение плотности населения и наземного транспорта приводит к ухудшению здоровья граждан (заболевания легких, сердечно-сосудистые заболевания и другое), что уменьшает работоспособное время жизни и сокращает продолжительность жизни (рис. 15).

4. Главным источником заболеваний городской среды является наличие высокой концентрации атмосферной пыли, т.е. пылевых частиц размером от 1 до 10 мкм (PM_1 и PM_{10}).

5. Организм человека не способен самостоятельно отфильтровать пылевые частицы PM_1 до PM_5 . Они

свободно проходят в легкие, кровеносную систему и приводят к неизлечимым заболеваниям, а в некоторых случаях — к летальному исходу.

6. Самыми опасными для здоровья и жизни горожан являются частицы менее $PM_{2,5}$. Именно они находятся в организме дольше и трудно выводятся из него, так как попадают в кровеносную систему.

7. При сравнении рис. 3, 5 и 7 видно, что скопление людей в городах, увеличение плотности транспортной нагрузки и плотности распространения пылевых масс прямо пропорциональны.

8. Возможным решением проблемы запыленности города с угрозой здоровью человека является компенсационное озеленение на крышах и фасадах зданий.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Азаров В.Н., Горшков Е.В. Мелкодисперсная пыль как фактор загрязнения атмосферного воздуха // Социология города. 2018. № 4. С. 5–14. EDN YRSCCT.
2. Александров В.Г., Майоров А.В., Потоков Н.П. Авиационный технический справочник. М. : «ТРАНСПОРТ», 1975.
3. Грачева Е.К. Необходимость в зеленых насаждениях в городской среде // Технологии и оборудование садово-паркового и ландшафтного строительства : сб. ст. Междунар. научно-практич. конф. Красноярск, 26 ноября 2021 года. Красноярск : Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева», 2022. С. 39–41. EDN QMCVYS.
4. Колесников Е.Ю., Колесникова Т.М. Оценка воздействия на окружающую среду. Экспертиза безопасности : учебник и практикум для бакалавриата и магистратуры. 2-е изд., перераб. и доп. М. : Издательство «Юрайт», 2019. 469 с.
5. Дементьев А.А., Цурган А.М., Чудинин Н.В., Соловьев Д.А. Оценка динамики загрязнения атмосферного воздуха городского центра выбросами автомобильного транспорта картографическим методом // Системы контроля окружающей среды. 2020. № 3 (41). С. 81–89. DOI: 10.33075/2220-5861-2020-3-81-89. EDN URREAA.
6. Пинигин М.А., Сидоренко В.Ф., Антюфеев А.В., Балакин В.В. Выбор градостроительных решений по снижению загрязнения атмосферного воздуха в жилых районах выбросами автомобильного транспорта // Гигиена и санитария. 2021. Т. 100. № 2. С. 92–98. DOI: 10.47470/0016-9900-2021-100-2-92-98. EDN BGEMUA.
7. Заалишвили В.Б., Кануков А.С., Корбесова К.В., Майсурадзе М.В. Определение уровня загрязнения атмосферного воздуха урбанизированной территории автомобильным транспортом // Геология и геофизика Юга России. 2023. Т. 13. № 2. С. 133–148. DOI: 10.46698/VNC.2023.76.91.011. EDN QPOLFE.
8. Каргаполов Н.В., Рафаилова А.Л. Оценка загрязнения атмосферного воздуха автомобильным транспортом в Московском регионе // International Journal of Professional Science. 2019. № 10. С. 52–65. EDN OBTGUJ.
9. Мартемьянов В.А., Любимова Н.С. Ингредиентное загрязнение атмосферного воздуха автомобильным транспортом // Вестник Тверского государственного технического университета. 2007. № 12. С. 218–223. EDN TJAZAL.
10. Бакаева Н.В., Шишкина И.В., Матюшин Д.В. Модель экологически безопасной автотранспортной инфраструктуры городского хозяйства и методика интегральной оценки ее состояния // Жилищное строительство. 2012. № 6. С. 78–81.
11. Графкина М.В., Азаров А.В., Добринский Д.Р., Николенко Д.А. К вопросу контроля и нормирования выбросов мелкодисперсной пыли в атмосферный воздух при движении автомобильного транспорта // Вестник МГСУ. 2017. Т. 12. Вып. 4 (103). С. 373–380. DOI: 10.22227/1997-0935.2017.4.373-380
12. Невмержицкий Н.В., Ложкина О.В., Ложкин В.Н. Расчетная методика и компьютерная программа для оценки и прогнозирования загрязнения воздуха на автомагистралях мелкодисперсными взвешенными частицами PM_{10} и $PM_{2,5}$ // Вестник гражданских инженеров. 2016. № 2 (55). С. 206–209. EDN WEZJXB.
13. Косинова И.И., Фонова С.И. Математическая модель для прогнозирования пространственного распределения загрязняющих веществ на городских магистралях // Инженерные изыскания. 2015. № 7. С. 24–27. EDN UGCKWJ.

14. *Соболев А.А.* Движение частиц в воздушном потоке // Вектор науки ТГУ. 2013. № 3 (17). С. 83–86.
15. *Германова Т.В., Керножитская А.Ф.* К вопросу загрязнения атмосферного воздуха города Тюмени автомобильным транспортом // Вектор науки Тольяттинского государственного университета. 2013. № 2 (24). С. 25–28. EDN REUXPP.
16. *Ревич Б.А., Авалиани С.Л., Тихонова Г.И.* Экологическая эпидемиология : учебник для высших учебных заведений. 2004. М. : Академия. 384 с.
17. *Seinfeld J.H., Pandis S.N.* Atmospheric Chemistry And Physics. From Air Pollution to Climate Change // Second Edition, John Wiley & Sons, Inc. 2006. 1248 p.
18. *Xu W., Wang S., Jiang L., Sun X., Wang N., Liu X. et al.* The influence of PM_{2.5} exposure on kidney diseases // Human and Experimental Toxicology. 2022. Vol. 41. DOI: 10.1177/09603271211069982
19. *Chowdhury S., Pozzer A., Haines A., Klingmüller K., Münzel T., Paasonen P. et al.* Global health burden of ambient PM_{2.5} and the contribution of anthropogenic black carbon and organic aerosols // Environ. International. 2022. Vol. 159. No. 107020. DOI: 10.1016/j.envint.2021.107020
20. *Брехов А.А., Перницкий А.Д., Батманов В.П.* Загрязнение биосферы мелкодисперсной пылью // Актуальные проблемы и перспективы развития строительного комплекса : сб. тр. Междунар. науч.-практ. конф. : в 2 ч. Волгоград, 07–08 декабря 2021 года. Волгоград : Волгоградский государственный технический университет, 2021. Т. 2. С. 283–287. EDN MBHTYC.
21. *Шорин С.С., Бекишев К.Б., Норцева М.А., Какенов Б.Б.* Роль пылевого фактора возникновении производственно и экологически обусловленных заболеваний // Евразийский союз ученых. 2019. № 4–7 (61). С. 22–25. DOI: 10.31618/ESU.2413-9335.2019.7.61.59. EDN FTXKTT.
22. *Нгуен М.Т., Иванцова Е.А.* Проблема загрязнения воздуха в г. Ханой (Социалистическая Республика Вьетнам) // Проблемы региональной экологии. 2022. № 4. С. 94–98. DOI: 10.24412/1728-323X-2022-4-94-98. EDN PHJXT.
23. *Муратова К.М.* Защита биосферы и человека от мелкодисперсной пыли // Вестник РГАТА имени П.А. Соловьева. 2016. № 1 (36). С. 130–136. EDN WFEGTN.
24. *Ойроткинова О.Ш., Ермаков Н.А., Шкловский Б.Л.* Медико-экологические факторы в развитии сердечно-сосудистых заболеваний // Здоровье мегаполиса. 2021. Т. 2. № 4. С. 42–52. EDN FHXHGF.
25. *Корж В.В.* Зеленые крыши как способ решения урбанистических и экологических проблем больших городов на примере Волгограда // Конкурс научно-исследовательских работ студентов Волгоградского государственного технического университета : тезисы докладов. Волгоград, 25–29 апреля 2022 года. Волгоград : Волгоградский государственный технический университет, 2022. С. 321–322. EDN ZFSYVS.
26. *Yang Y.-L., Yang K., Luo Y., Yu Z.-Y., Meng C., Li C.* Effect of Vegetation Coverage on the Temporal and Spatial Distribution of PM_{2.5} Concentration in China's Eight Major Economic Regions from 1998 to 2016 // Environ. Sci. 2021. Vol. 42 (11). Pp. 5100–5108. DOI: 10.13227/j.hjx.202101277
27. *Wroblewska K., Jeong B.R.* Effectiveness of plants and green infrastructure utilization in ambient particulate matter removal // Environ. Sci. Eur. 2021. Vol. 33. No. 110. DOI: 10.1186/s12302-021-00547-2

Об авторах: **Елена Владимировна Сысоева** — канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры архитектурно-строительного проектирования и физики среды; **Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ)**; 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; ORCID: 0000-0001-7250-3190; e-mail: SysoevaEV@mgsu.ru;

Евгений Леонидович Безбородов — старший преподаватель кафедры архитектурно-строительного проектирования и физики среды; **Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ)**; 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; ORCID: 0000-0001-9365-9581; e-mail: bezborodov@Gic.Mgsu.Ru.

About the authors: **Elena V. Sysoeva** — Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Architectural and Construction Design and Environmental Physics; **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**; 26 Yaroslavskoye shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; ORCID: 0000-0001-7250-3190; e-mail: SysoevaEV@mgsu.ru;

Evgeny L. Bezborodov — Senior Lecturer at the Department of Architectural and Construction Design and Environmental Physics; **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**; 26 Yaroslavskoye shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; ORCID: 0000-0001-9365-9581; e-mail: bezborodov@Gic.Mgsu.Ru.