

Оценка влияния технологий озеленения кровельных покрытий жилых зданий на экологическую безопасность города Москвы

Король Елена Анатольевна (Москва). Доктор технических наук, профессор, член-корреспондент РААСН. Кафедра жилищно-коммунального комплекса Национального исследовательского Московского государственного строительного университета (Россия, 129337, Москва, Ярославское шоссе, 26. НИУ МГСУ). Эл. почта: professorsorkorol@mail.ru

Шушунова Наталья Сергеевна (Москва). Кандидат технических наук. Кафедра комплексной безопасности Национального исследовательского Московского государственного строительного университета (Россия, 129337, Москва, Ярославское шоссе, 26. НИУ МГСУ). Эл. почта: nshushun@gmail.com

Аннотация. Влияние новых технологий зелёного строительства, применяемых в городском пространстве, на снижение выбросов основных вредных веществ в зоне жилой застройки является актуальной проблемой современного градостроительства. Системы озеленения городских пространств, предусматривающие технологии модульного озеленения кровельных покрытий жилых зданий, являются современными технологическими инструментами в их формировании городского пространства.

Покрытия зданий с системами озеленения снижают уровень вредных веществ в воздухе, поглощая сотни видов различных вредных и опасных для организма человека веществ и выделяя кислород. Целью исследования, по результатам которого написана статья, было проанализировать состояние воздуха в городе Москве и оценить снижение вредных атмосферных выбросов за счёт использования кровельных покрытий с различными системами озеленения, а также найти растения, используемые для «зелёных» кровельных покрытий, которые лучше всего «поглощают» вредные вещества. В исследовании использовался метод сравнительного анализа для различных вариантов устройства покрытий с системами озеленения.

Приведены различные типы озеленения крыш в зависимости от нагрузки на покрытие здания: экстенсивный и интенсивный. В исследовании проанализированы различные варианты устройства кровельных покрытий с системами озеленения на основе сравнения показателей ПДК вредных веществ в воздухе города Москвы.

Ключевые слова: зелёная кровля, показатели ПДК вредных веществ, атмосферное загрязнение, технологии зелёного строительства, системы озеленения, эксплуатируемые кровельные покрытия

Для цитирования. Король Е.А., Шушунова Н.С. Оценка влияния технологий озеленения кровельных покрытий жилых зданий на экологическую безопасность города Москвы // Academia. Архитектура и строительство. – 2023. – № 2. – С. 153–159. doi: 10.22337/2077-9038-2023-2-153-159.

Assessing the Impact of Landscaping Technologies for Roofing of Residential Buildings on the Environmental Safety of the City of Moscow

Korol Elena A. (Moscow). Doctor of Sciences in Technology, Professor, Corresponding Member of RAACS. Head of the Department of Housing and Communal Utility of the National Research Moscow State University of Civil Engineering (Russia, 129337, 26, Yaroslavskoye Shosse, Moscow, Russia. NRU MGSU). E-mail: professorsorkorol@mail.ru

Shushunova Natalia S. (Moscow). Candidate of Sciences in Technology. Department of Integrated Safety The Department of Environmental of the National Research Moscow State University of Civil Engineering (Russia, 129337, 26, Yaroslavskoye Shosse, Moscow, Russia. NRU MGSU). E-mail: nshushun@gmail.com

Abstract. The impact of new technologies on population growth in urban conditions of increased risk of major harmful diseases in the area of observation of residential development is an urgent problem of modern urban planning. Systems of gardening of urban areas.

Coatings of buildings with the appearance of landscaping. The purpose of the study is to analyze the state of the air in the city of Moscow and assess the reduction of harmful atmospheric effects through the use of roofing with green spaces, as well as the search for the most "absorbing" harmful substances "green" roofing. When using the method of detecting various variants of devices with external landscaping.

Different types of green roofs are given depending on the load on the roof of the building: extensive and intensive type of landscaping. The study presents an analysis of various options for the installation of roofing with the advent of landscaping based on a comparison of MPC indicators for harmful emissions in the water area of Moscow.

Keywords: green roof, MPC indicators of harmful substances, atmospheric pollution, green building technology, greening systems, operated roofing

For citation. Korol E.A Shushunova N.S. Features of the installation of various options for roofing with greening systems. In: *Academia. Architecture and construction*, 2023, no. 2, pp. 153–159. doi: 10.22337/2077-9038-2023-2-153-159.

Актуальность темы исследования определялась тем, что в настоящее время широкий спектр экологических проблем городской среды, обусловленных глобализацией современного общества, требует применения современных экологических архитектурно-технологических решений, направленных на снижение негативных последствий антропогенного влияния на окружающую среду, в частности, на снижение загрязнения воздуха городской среды [1]. К таким архитектурно-технологическим решениям относится применение эксплуатируемых кровельных покрытий с системами озеленения на зданиях. Согласно исследованиям, на строительный сектор приходится 40% общего потребления энергии, в странах ЕС 36% всех выбросов парниковых газов приходится на здания, при этом зелёные крыши на зданиях считаются одним из наиболее подходящих вариантов для решения проблем, связанных с эффектом «теплового острова», так как крыши составляют почти 25% общей площади городского пространства [2]. А при невозможности выделить свободное пространство в условиях высокой плотности застройки устройство эксплуатируемых кровельных покрытий с системами озеленения на зданиях является оптимальным для загрязнения воздуха.

Воздух в городской среде загрязняется различными вредными веществами: твёрдыми частицами, пылью, аэрозолями, газами, дымом и т.д. Синергия взаимодействия различных компонентов загрязнения затрудняет оценку воздействия каждого отдельно взятого компонента. Установлено, что из общего количества загрязнений воздуха городской среды 27% поступает от электростанций, 24,3% – от предприятий чёрной металлургии, 10,5% – от цветной, 15,5% – от нефтедобычи и нефтехимии, 13,1% – от транспорта, 8,5% – от промышленности стройматериалов и 1,5% – из прочих источников [3].

Проведённый обзор литературных источников показывает, что растения на кровле зданий способны поглощать некоторые загрязняющие вещества из атмосферы, в том числе и диоксид азота, озон приземный, взвешенные частицы PM10, серы диоксид.

В поисках эффективных средств защиты экологии городской окружающей среды изучалось влияние растительности, особенно деревьев, на охлаждение окружающего городского воздуха, затенение зданий и поглощение газообразных загрязнителей воздуха. Так, результаты исследований в Лос-Анджелесе подтвердили, что зелёные крыши могут снизить температуру окружающей среды на 3°C и охладить воздух вокруг зданий [4; 5]. Другие исследователи по результатам своих научных работ определили, что загрязнение воздуха снижается, когда переносимые ветром частицы (PM2.5 и PM10) прилипают к листьям и стеблям растений [6]. Таким же образом газообразные загрязнители воздуха могут растворяться или изолироваться, к примеру, углекислый газ – через особые устьица, которые есть на листьях растений [7; 8]. Джонсон и Ньютон рассчитали, что 2000 кв. м травы на крыше могут удалить до 4000 кг твёрдых частиц в листьях и стеблях за год [9]. Некоторые немецкие учёные предполагают, что 1 кв. м высокорастущей травы на крыше создаёт достаточно кислорода для удовлетворения потребностей одного человека в течение одного года [10]. Сингапурские учёные Тан и Сиа в 2005 году измеряли температуру и другие параметры качества воздуха до и после устройства зелёной крыши, используя пробоотборники аэрозолей небольшого объёма, счётчики частиц, эталометр для концентрации вредных веществ и метеостанцию. Они определили, что кислотные газообразные загрязнители, температура поверхности зелёных крыш и уровни вредных веществ (на примере сажи) значительно снизились. Эти результаты подтверждают необходимость более широкого использования городской растительности для улучшения качества городского воздуха [11].

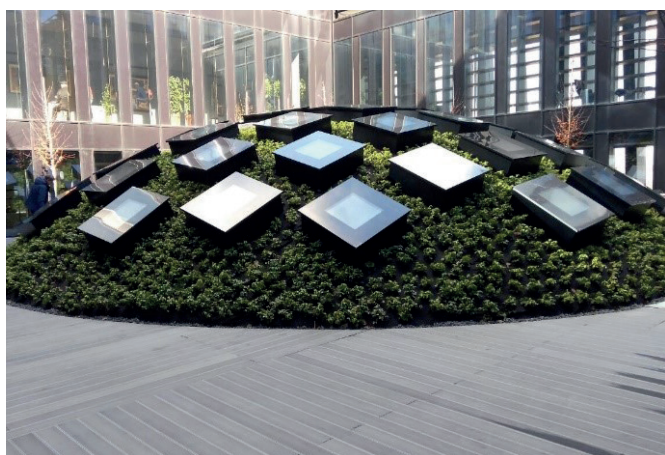
Несколько зарубежных публикаций, описывающих воздействие «зелёных» кровельных покрытий на загрязнители воздушного пространства, посвящены способности таких покрытий улавливать такие вредные вещества, как диоксид азота, озон приземный, взвешенные частицы PM10, серы диоксид, снижая их концентрацию в воздухе с помощью

«зелёных» кровельных покрытий [12]. Это происходит за счёт естественной «фильтрации» растений – осаждения вредных веществ на поверхности листьев растений, что делает озеленение важным средством контроля рассеивания загрязняющих веществ в городской среде.

Вместе с другими типами озеленения городских территорий растительность на «зелёных» крышах приводит к заметному снижению твёрдых взвешенных частиц [13]. Так, она может значительно снизить концентрацию вредного вещества РМ2.5. Например, очиток белый стеной (*S. album f. Murale*) и седум отогнутый (*Sedum reflexum*) снижают пиковую концентрацию РМ2.5 до 45,3% и 71,4% по сравнению с пиковыми концентрациями РМ2.5 без растительности, при

этом наибольший потенциал к удалению РМ2.5 наблюдается у *S. album* ($29,3 \pm 8,7$ мкг/см²·ч) в связи с высокой шероховатостью листьев и краевым эффектом, листья меньшего размера обладают большим потенциалом для улавливания твёрдых взвешенных частиц [14–16].

На данный момент технологии зелёного строительства получили широкое распространение на Западе и США, в то время как в России они только начинают своё развитие. Для России новые технологии модульного устройства зелёных кровельных покрытий является универсальным и наиболее востребованным решением. Одним из направлений совершенствования технологии устройства озеленения кровельных покрытий является применение сборно-разборных модульных



а)



б)

Рис. 1. Различные решения эксплуатируемых кровель с системами полуинтенсивного озеленения: а) озеленение шарообразного купола с большим количеством световых окон делового центра «Матрекс» (Matrex) в Сколково (фото из открытого источника сети Интернет); б) кровля бионического дома, спроектированного архитектурным бюро «Нико Архитект» (Niko ARCHITECT) (источник: <https://design-mate.ru/read/objects/interior/futuristic-house-in-an-artificial-landscape-in-moscow-by-niko-architect>)

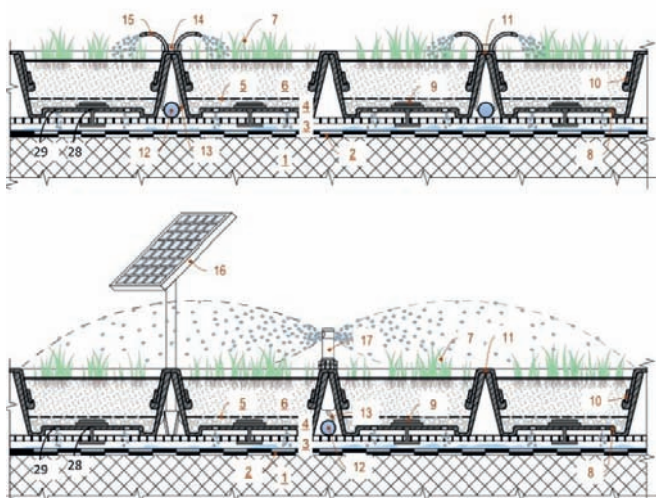


Рис. 2. Разработанные конструктивные решения эксплуатируемых кровель с модульными системами экстенсивного озеленения. Схемы Н.С. Шушуновой: а) кровля с системами капельного полива; б) кровля с солнечными панелями и спринклерным поливом

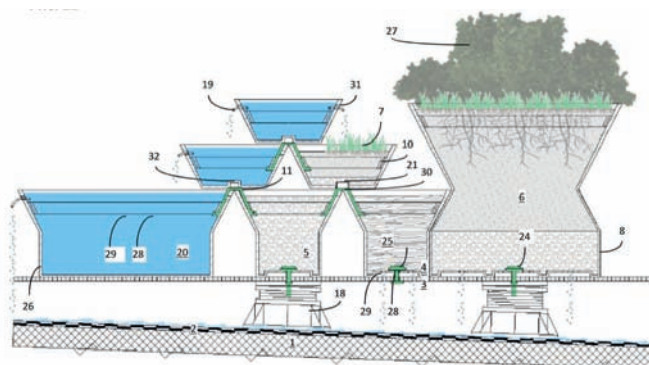


Рис. 3. Разработанные конструктивные решения эксплуатируемых кровель с модульными системами интенсивного озеленения с возможностью использования полива модулями. Схемы Н.С. Шушуновой.

систем, а также сокращение трудоёмких технологических операций устройства многослойной конструкции подкровельного основания. Авторами предложен запатентованный в России способ модульного озеленения кровельных покрытий зданий с использованием как экстенсивного, так и интенсивного типа озеленения (рис. 1, 2). Разработанное конструктивно-технологическое решение кровельного покрытия с модульными системами озеленения предусматривает сокращение трудоёмких процессов по устройству озеленения эксплуатируемых кровель на строительной площадке за счёт использования сборно-разборной конструкции и высокой технологичности соединения модульных элементов.

Системы зелёных крыш могут различаться. В зависимости от нагрузки на покрытие здания различают следующие типы озеленения кровельных покрытий:

- экстенсивный тип озеленения: небольшие слои почвы, которые поддерживают в основном седумы (сочные растения, которые нуждаются в небольшом количестве воды) и травы; как правило, не предназначены для использования людьми, кроме обслуживания кровли;
- интенсивный тип озеленения: более мощные слои почвы, которые предназначены для посадки различных типов растений, даже деревьев. Как правило, покрытия кровли с таким типом озеленения имеют проходы, скамейки или

Таблица 1. Анализ состояния воздуха в городе Москве и оценка влияния на него различных типов озеленения кровельных покрытий зданий

Вредное вещество (ВВ)	Диоксид азота (NO ₂)	Озон приземный (O ₃)	Взвешенные частицы (PM ₁₀)	Серый диоксид (SO ₂)
Характеристики ВВ	газ жёлто-бурого цвета с характерным запахом	Бесцветный газ, сильный окислитель	мелкодисперсные частицы сверхмалого размера (меньше 10 мкм)	бесцветный газ с характерным запахом
Основные источники поступления ВВ в атмосферу Москвы	автотранспорт, теплоэнергетика, предприятия нефтехимической отрасли	фотохимические реакции под действием солнечной радиации, в которых участвуют оксиды азота, летучие углеводороды	глобальный трансграничный перенос, автотранспорт, промышленность, вынос с подстилающих поверхностей (незадернованные почвы, дороги), теплоэнергетика (при использовании резервного топлива)	теплоэнергетика (при сжигании резервного топлива), переработка нефти, автотранспорт
Норматив ВОЗ (ПДК) ВВ	0,2 мг/м ³	0,03 мг/м ³ В РФ установлен жёсткий норматив для среднесуточных концентраций на этом уровне.	0,3 мг/м ³	0,5 мг/м ³
Содержание ВВ в атмосфере Москвы (по состоянию на 16.02.2023)	0,048 мг/м ³	0,034 мг/м ³	0,015 мг/м ³	0,002 мг/м ³
Превышение содержания ВВ над нормативными значениями ПДК ВВ	+140%	+13%	-	-
Снижение концентрации ПДК ВВ при использовании систем экстенсивного озеленения	-0,004 мг/м ³	-0,009 мг/м ³	-0,006 мг/м ³	-0,002 мг/м ³
(в %)	-2%	-30%	-2%	-0,4%
Снижение концентрации ПДК ВВ при использовании систем интенсивного озеленения	0,014 мг/м ³	0,029 мг/м ³	0,023 мг/м ³	0,006 мг/м ³
В процентах	-7%	-97%	-8%	-1,2%

* Данные показатели содержания ВВ в атмосфере Москвы были получены 16.02.2023, следует принять климатические особенности города Москвы с учётом выбора вечнозелёных растений

другие сооружения, которые предусматривают возможность проводить на них время (эксплуатируемые кровли).

Отдельно можно выделить озеленение крыши полунтенсивного типа, в некоторых случаях переходящее в ландшафт (рис. 3).

Для таких типов озеленения кровли были произведены исследования в различных климатических условиях [17; 18].

Мониторинг отдельных параметров окружающей среды является действенным методом оценки её качества в целом [19]. Для предупреждения и предотвращения экологической опасности вследствие антропогенных изменений в состоянии воздушной среды города Москвы, необходимо проведение комплекса мероприятий, в том числе по озеленению покрытий зданий, направленных на снижение концентраций следующих основных вредных веществ в атмосфере: диоксид азота, озон приземный, взвешенные частицы PM10, серы диоксид (табл. 1). Анализ состояния воздуха в городе Москве основан на данных круглосуточного мониторинга станции «Мосэкомониторинга» [20].

Данная работа представляет особый интерес вследствие учёта растительности для снижения концентраций основных городских загрязнителей воздушной среды: диоксид азота, озон приземный, взвешенные частицы PM10 и серы диоксид. Как видно из представленной таблицы 1, в атмосфере города Москвы по состоянию на 16 февраля 2023 года наблюдается заметное превышение концентрации диоксида азота – на 140%, при этом концентрацию диоксида азота можно снизить на 7%, если использовать на зданиях городской застройки системы интенсивного озеленения. Также превышает нормативные значения содержание в городском воздухе озона приземного – на 13%, при этом его концентрацию можно снизить – на 30%, если использовать на зданиях городской застройки системы экстенсивного озеленения (что вполне достаточно), и на 97%, если использовать на зданиях городской застройки системы интенсивного озеленения. Содержание остальных вредных веществ в атмосфере Москвы (по состоянию на 16.02.2023) незначительно и не превышает нормативные показатели ВОЗ, снижение их концентраций при использовании систем экстенсивного и интенсивного озеленения также незначительны и составляют от 0,4% до 8% соответственно. В целом можно сделать вывод, что использование систем экстенсивного и интенсивного озеленения на кровлях зданий позволяет снизить концентрацию вредных веществ в атмосфере города Москвы, при этом концентрацию озона приземного можно снизить – на 30%, если использовать на зданиях городской застройки системы экстенсивного озеленения, что вполне достаточно для достижения нормативных требований ВОЗ по качеству воздуха.

* * *

Таким образом, на основе описанного исследования был выполнен анализ городского воздуха на содержание в нём вредных веществ, и сделана оценка использования

существующих систем экстенсивного и интенсивного озеленения на кровлях зданий для снижения вредных атмосферных выбросов. В исследовании использовался метод сравнительного анализа для различных вариантов устройства кровельных покрытий с системами озеленения. Использование «зелёных» технологий в строительстве зданий позволяет городу «дышать». К таким технологиям городской среды относят применение зелёных насаждений на кровлях различных зданий, а также на прилегающих к ним территориях. В атмосфере Москвы наблюдается заметное превышение концентрации диоксида азота – на 140%, озона приземного – на 13%. Целесообразным является устройство «зелёной» кровли экстенсивного типа, так как использование систем экстенсивного и интенсивного озеленения на кровлях зданий в целом позволяет снизить концентрацию вредных веществ в атмосфере города, при этом концентрацию озона приземного можно снизить – на 30%, если использовать на зданиях городской застройки системы экстенсивного озеленения, что вполне достаточно для достижения нормативных требований ВОЗ по качеству городского воздуха.

Список источников

1. *Покровская, Е.Н.* Экологическая химия атмосферы : Учебное пособие / Е.Н. Покровская. Текст : непосредственный. – Москва : АСВ, 2017. – 110 с.
2. *Besir, Ahmet B.* Green Roofs and Facades: A Comprehensive Review / Ahmet B. Besir, Erdem Cuce. – Текст : непосредственный // *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. – 2018. – Vol. 82, Part 1, February 2018. – P. 915–939.
3. *Горохов, В.А.* Городское зелёное строительство / В.А. Горохов. – Москва : Стройиздат, 1991. – 416 с. – Текст : непосредственный.
4. *Akbari, H.*, Cool Surfaces and Shade Trees to Reduce Energy Use and Improve Air Quality in Urban Areas / Akbari H., Pomerantz M., Taha H. – Текст : непосредственный // *Solar Energy*. – 2010. – № 70 (3). – P. 295–310.
5. *Bass, B.* Evaluating rooftop and vertical gardens as an adaptation strategy for urban areas / B. Bass, B. Baskaran. – Текст : электронный // *National Research Council Canada Technical Report NRCC-46737*. January 2003. DOI: 10.4224/20386110. – URL: https://www.researchgate.net/publication/44055696_Evaluating_Rooftop_and_Vertical_Gardens_as_an_Adaptation_Strategy_for_Urban_Areas (дата обращения 23.02.2023).
6. *Hosker, R.P Jr.* Review: atmospheric deposition and plant assimilation of gases and particles / Hosker R.P. Jr, Lindberg S.E. – Текст : непосредственный // *Atmospheric Environment*. – 1982. – № 16 (5). – P. 889–910.
7. *Nowak, D.J.* Trees, Pollute? A Tree Explains it All / D.J. Nowak. – Текст : электронный // *Proceedings of the national urban forestry conference* / Kollin C., Barratt M., (eds). – Washington DC : American Forests, 1995, pp. 28–30. – URL:

https://www.researchgate.net/publication/284261759_Trees_pollute_A_TREE_explains_it_all (дата обращения 25.01.2023).

8. A Modeling Study of the Impact of Urban Trees on Ozone / D.J. Nowak, K.L. Civerolo, S.T. Rao [et al.]. – Текст : непосредственный // *Atmospheric Environment*, – 2000. – № 34. – P. 1601–1613.

9. *Johnson, J.* Building Green, a Guide for Using Plants on Roofs Walls and Pavement / J. Johnson, J. Newton.– London, 1996. – Текст : непосредственный.

10. *Minke, G.* Haeuser mit Gruenem Pelz : Ein Handbuch zur Hausbegruenung / G. Minke, G. Witter. ; partially translated in English. – Frankfurt : Verlag DieterFricke GmbH, 1982. – Текст : непосредственный.

11. *Tan PW, Sia A.* A Pilot Study Green Roof Project in Singapore // *Proceedings from the third Greening Rooftops for Healthy Cities*. Washington DC, May 2005

12. *Rasul, M.G.* Environmental Impact Assessment of GREEN Roofs Using Life Cycle Assessment / M.G. Rasul, L.K.R. Arutla.– doi: 10.1016/j.egy.2019.09.015. – Текст : непосредственный // *Energy Reports*. – 2019.

13. Potential of Particle Matter Dry Deposition on Green Roofs and Living Walls Vegetation for Mitigating Urban Atmospheric Pollution in Semiarid Climates / doi: 10.3390/su10072431. – Текст : непосредственный // *Sustainability*. – 2018. – № 10 (7). – P. 24–31.

14. *Freer-Smith, P.H.* Deposition Velocities to Sorbus Aria, Acer Campestre, Populus Deltoides X Trichocarpa 'Beaupré', Pinus nigra and X Cupressocyparisleylelandii for coarse, fine and ultra-fine particles in the urban environment / P.H. Freer-Smith, K.P. Beckett, G. Taylor. – doi: 10.1016/j.envpol.2004.03.031. 169. – Текст : непосредственный // *Environmental Pollution*. – 2005. – Vol. 133. – P. 157–167.

15. *Leonard, R.J.* Particulate Matter Deposition on Roadside Plants and the Importance of Leaf Trait Combinations / R.J. Leonard, C. McArthur, D.F. Hochuli. – doi: 10.1016/j.ufug.2016.09.008. 170. – Текст : непосредственный // *Urban Forestry & Urban Greening*. – 2016. – Vol. 20. – P. 249–253.

16. Evaluating the Impact of Individual Leaf Traits on Atmospheric Particulate Matter Accumulation Using Natural and Synthetic Leaves / U. Weerakkody, J.W. Dover, P. Mitchell, K. Reiling. – doi: 10.1016/j.ufug.2018.01.001. – Текст : непосредственный // *Urban Forestry & Urban Greening*. – 2018. – Vol. 30. – P. 98–107.

17. *Bevilacqua, P.* The Effectiveness of Green Roofs in Reducing Building Energy Consumptions across Different Climates. A summary of literature results // P. Bevilacqua. – Текст : электронный // *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. – 2021. – Vol. 151. – P. 111523. – URL: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111523> (дата обращения 16.01.2023).

18. *Bevilacqua, P.* Green Roofs in a Mediterranean Climate: Energy Performances Based on In-Situ Experimental Data / P. Bevilacqua, R. Bruno, N. Arcuri. – Текст : электронный // *Renewable Energy*. – 2020. – Vol. 152. – P. 1414–1430. – URL:

<https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.01.085> (дата обращения 16.01.2023).

19. *Borkovskaya, V.G.* Environmental Economic Model of Risk Management and Costs in the Framework of the Quality Management System / V.G. Borkovskaya, E.N. Degaev, I. Burkova. – MATEC Web of Conference. – 2018. – Vol. 193. – P. 05027.

20. Качество воздуха города Москвы // Мосэкомониторинг. – URL: <https://mosecom.mos.ru/air-quality> (дата обращения 17.02.2023)

21. *Савинкин, В.В.* Двенадцать сюжетов из лекций основателя кафедры «Дизайн архитектурной среды» МАРХИ Георгия Борисовича Минервина (1918–1997) / В.В. Савинкин. – Текст : непосредственный *Academia*. Архитектура и строительство. – 2018. – № 4. – С. 150–156.

22. *Палей, Е.С.* Озеленённое общественное пространство в композиции современных университетских кампусов Европы / Е.С. Палей. – Текст : непосредственный // *Academia*. Архитектура и строительство. – 2017. – № 4. – С. 55–62.

References

1. *Pokrovskaya, E.N.* *Ekologicheskaya khimiya atmosfery [Ecological Chemistry of the Atmosphere]*. Moscow, ASV Publ., 2017, 110 p. (In Russ.)

2. *Besir, Ahmet B.* Green Roofs and Facades: A Comprehensive Review. In: *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2018, Vol. 82, Part 1, February 2018, pp. 915–939. (In Engl.)

3. *Gorokhov V.A.* *Gorodskoe zelenoe stroitel'stvo [Urban Green Building]*. Moscow, Stroizdat Publ., 1991, 416 p. (In Russ.)

4. *Akbari H., Pomerantz M., Taha H.* Cool Surfaces and Shade Trees to Reduce Energy Use and Improve Air Quality in Urban Areas. In: *Solar Energy*, 2010, no. 70 (3), pp. 295–310. (In Engl.)

5. *Bass B, Baskaran B.* Evaluating rooftop and vertical gardens as an adaptation strategy for urban areas. In: *National Research Council Canada Technical Report NRCC-46737*. January 2003. URL: https://www.researchgate.net/publication/44055696_Evaluating_Rooftop_and_Vertical_Gardens_as_an_Adaptation_Strategy_for_Urban_Areas (Accessed 02/23/2023). DOI: 10.4224/20386110. (In Engl.)

6. *Hosker, R.P Jr.* Review: Atmospheric Deposition and Plant Assimilation of Gases and Particles / R.P. Jr. Hosker, Lindberg S.E. – Текст : neposredstvennyi // In: *Atmospheric Environment*, 1982, no. 16 (5), pp. 889–910. (In Engl.)

7. *Nowak D.J.* Trees, pollute? A Tree Explains It All. In: *Proceedings of the national urban forestry conference*. Washington DC : American Forests, 1995, pp. 28–30. URL: https://www.researchgate.net/publication/284261759_Trees_pollute_A_TREE_explains_it_all (Accessed 01/25/2023). (In Engl.)

8. *Nowak DJ, Civerolo KL, Rao ST, Sistla G, Juley CJ, Crane DE.* A Modeling Study of the Impact of Urban Trees on Ozone. In: *Atmospheric Environment*, 2000, no. 34, pp. 1601–1613. (In Engl.)

9. *Johnson J., Newton J.* Building Green, a Guide for Using Plants on roofs Walls and Pavement. The London ecology unit, London, 1996. (In Engl.)

10. Minke G., Witter G. Haeuser mit Gruenem Pelz : Ein Handbuch zur Hausbegruenung. Frankfurt, Verlag DieterFricke GmbH, 1982. (In Germ.)
11. Tan PW, Sia A. A Pilot Study Green Roof Project in Singapore. In: *Proceedings from the third GreeningRooftops for Healthy Cities*. Washington DC, May 2005. (In Engl.)
12. Rasul M.G., Arutla L.K.R. Environmental Impact Assessment of Green Roofs Using Life Cycle Assessment. In: *Energy Reports*, 2019, doi: 10.1016/j.egy.2019.09.015. (In Engl.)
13. Potential of Particle Matter Dry Deposition on Green Roofs and Living Walls Vegetation for Mitigating Urban Atmospheric Pollution in Semiarid Climates. In: *Sustainability*, 2018, Vol. 10 (7), pp. 2431, doi: 10.3390/su10072431. (In Engl.)
14. Freer-Smith P.H., Beckett K.P., Taylor G. Deposition Velocities to Sorbus aria, Acer campestre, Populus deltoides X trichocarpa 'Beaupré', Pinus nigra and X Cupressocyparis leylandii for coarse, fine and ultra-fine particles in the urban environment. In: *Environ. Pollut*, 2005, Vol. 133, pp. 157–167, doi: 10.1016/j.envpol.2004.03.031 (In Engl.)
15. Leonard R.J., McArthur C., Hochuli D.F. Particulate Matter Deposition on Roadside Plants and the Importance of Leaf Trait Combinations. In: *Urban Forestry & Urban Greening*, 2016, Vol. 20, pp. 249–253, doi: 10.1016/j.ufug.2016.09.008. 170. (In Engl.)
16. Weerakkody U., Dover J.W., Mitchell P., Reiling K. Evaluating the Impact of Individual Leaf Traits on Atmospheric Particulate Matter Accumulation Using Natural and Synthetic Leaves. In: *Urban Forestry & Urban Greening*, 2018, Vol. 30, pp. 98–107, doi: 10.1016/j.ufug.2018.01.001. (In Engl.)
17. Bevilacqua P. The Effectiveness of Green Roofs in Reducing Building Energy Consumptions across Different Climates. A summary of literature results. In: *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2021, Vol. 151, pp. 111523, URL: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111523> (Accessed 01/16/2023). (In Engl.)
18. Bevilacqua P., Bruno R., Arcuri N. Green Roofs in a Mediterranean Climate: Energy Performances Based on In-Situ Experimental Data. In: *Renewable Energy*, 2020, Vol. 152, pp. 1414–1430. URL: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.01.085> (Accessed 01/16/2023). (In Engl.)
19. Borkovskaya V.G., Degaev E.N., Burkova I. Environmental Economic Model of Risk Management and Costs in the Framework of the Quality Management System. In: *MATEC Web of Conference*, 2018, Vol. 193, p. 05027. (In Engl.)
20. Kachestvo vozdukhа goroda Moskvy [Moscow City Air Quality]. Mosekomonitoring URL: <https://mosecom.mos.ru/air-quality> (Accessed 02/17/2023)
21. Savinkin V.V. Dvenadtsat' syuzhetov iz leksiі osnovatelya kafedry «Dizain arkhitekturnoi sredy» MARKhI Georgiya Borisovichа Minervina (1918–1997) [Twelve plots from the lectures of the founder of the cafe "Design of the architectural environment" Twelve plots from the lectures of the founder of the cafe "Design of the architectural environment"]. In: *Academia. Arkhitektura i stroitel'stvo* [*Academia. Architecture and Construction*], 2018, no. 4, pp. 150–156. (In Russ., abstr.in Engl.)
22. Palei E.S. Ozelenennoe obshchestvennoe prostranstvo v kompozitsii sovremennykh universitetskikh kampusov Evropy [Green Public Space in Composition of Modern European University Campuses. In: *Academia. Arkhitektura i stroitel'stvo* [*Academia. Architecture and Construction*], 2017, no. 4, pp. 55–62. (In Russ., abstr.in Engl.)