

УДК 614.715:725

В. Ю. Черепанов, В. В. Лупиногин, Р. А. Лясин

Волгоградский государственный технический университет

ВЛИЯНИЕ ФАКТОРОВ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО РИСКА НА СОХРАННОСТЬ ОБЪЕКТОВ КУЛЬТУРНОГО НАСЛЕДИЯ

Рост промышленного производства вследствие активной урбанизации приводит к увеличению количества выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух. Воздействие загрязнения атмосферного воздуха главным образом зависит от агрегатного состояния загрязнителя. Так, твердые частицы способны воздействовать на объекты культурного наследия путем механического истирания поверхности оседания, а также химически при гидролизе солей с образованием кислот. В свою очередь выбросы газообразных веществ способствуют возникновению кислотных дождей.

К л ю ч е в ы е с л о в а: объект культурного наследия, атмосферный воздух, осаждение, загрязнение атмосферного воздуха, изменение климата, экологический риск, адгезия, твердые частицы, газообразные загрязняющие вещества.

Введение

Загрязнение атмосферного воздуха является одним из главных факторов экологического риска, который способствует изменению погодных и климатических условий, в определенных случаях ускоряя физическую дезинтеграцию строительных материалов объектов культурного наследия (ОКН). Как правило, диапазон некоторых элементов местной погоды, которые изменяются в результате глобального изменения климата, не согласуется с ущербом аспектам ОКН [1].

Некоторые факторы погодных условий напрямую зависят от изменений климата, а некоторые из них увеличивают скорость деградации строительных материалов. В работе [2] выделены 9 категорий воздействия изменения климата, которые в зависимости от возникающих последствий, объединены в 3 категории (метеорология, гидрология, климатология). Под метеорологическим воздействием понимается возникновение штормов, ураганов, гидрологическим — повышения уровня воды, селевые потоки, климатологическим — экстремальные перепады температур.

В [3] рассмотрено глобальное изменение климата, связанное с ростом температуры и относительной влажности, которое приводит к увеличению осадков, ускорению физической дезинтеграции строительных материалов, развитию вредителей и болезней (грибковое загрязнение, мхи). В значительной степени воздействию таких условий подвержены внешние и внутренние поверхности зданий, крыша, пол, фасад и другие поверхности, контактирующие с землей. При низкой температуре и высокой относительной влажности из-за насыщения строительных материалов водой происходит кристаллизация солей, что приводит к деградации строительного материала, которая может увеличиться за счет цикличности процесса «замораживание — оттаивание».

Целью данного исследования является оценка влияния факторов экологического риска (загрязнение атмосферного воздуха) на ОКН.

В настоящее время на территории Волгоградской области насчитывается более 2000 ОКН, большинство которых располагается в г. Волгограде. Можно выделить следующие ОКН (памятники архитектуры и градостроительства, истории, ансамбли), которые находятся в различном состоянии («утрачен — хорошее», рис. 1)¹.

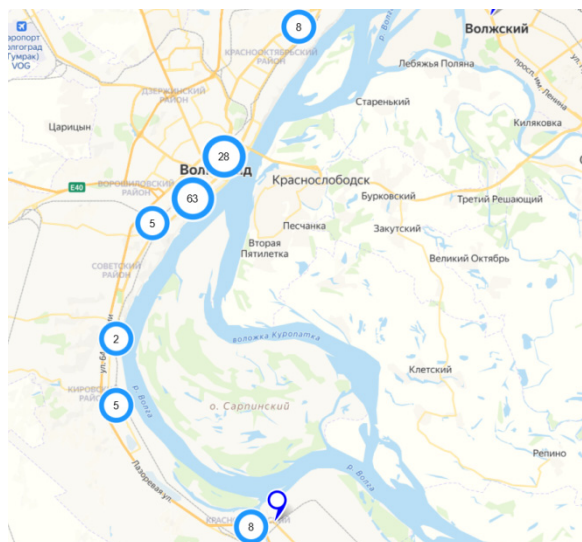


Рис. 1. Карта расположения ОКН на территории Волгограда (памятники архитектуры и строительства)

Источники выброса загрязняющих веществ в г. Волгограде

Как правило, все источники выброса загрязняющих веществ (ЗВ) в атмосферный воздух можно разделить на природные и антропогенные. В зависимости от способа образования их можно классифицировать на первичные и вторичные источники выброса [4].

Волгоград является городом линейного типа, его длина во много раз больше его ширины. Для таких городов характерно наличие крупных магистралей, которые в значительной степени определяют загрязнение атмосферного воздуха автомобильным транспортом.

При движении транспорта в атмосферный воздух выделяются твердые и газообразные вещества, количество которых зависит от типа двигателя (бензиновый, дизельный), технического состояния, режима эксплуатации, наличия катализатора [5].

В общем случае все ЗВ можно выделить в две группы — образующиеся в результате работы двигателя и движения автомобильного транспорта. В работах [5—8] выделены следующие загрязняющие вещества, поступающие в атмосферный воздух от автомобильного транспорта: углеводороды (СН), моноксид углерода (СО), оксид углерода (СО₂), летучие органические соединения (VOCs), оксиды азота (NO_x), твердые частицы (PM_x, TSP), оксиды серы (SO_x), частицы износа шин (каучук, TWP), частицы износа битума (BiWP),

¹ Региональный каталог объектов культурного наследия Волгоградской области.
URL: <https://voopiik34.ru/objects/>

металлические частицы, связанные с выхлопными газами и износом тормозов (Fe, Cu, Zn, Pb).

На основании данных [9] на территории Волгограда функционирует ряд промышленных предприятий, которые являются источником выбросов твердых и газообразных ЗВ. Можно выделить предприятия легкой промышленности: ООО «ПО «Шеврет» (кожевенный завод, Советский район), ООО «ВИТ» (лакокрасочный завод, Городищенский район). К предприятиям тяжелой промышленности относятся: АО ВМК «Красный Октябрь» (производство нержавеющей стали, Краснооктябрьский район), АО «Каустик» (производство неорганических химических веществ, Красноармейский район), ОАО «Волгограднефтемаш» (производство нефтегазового оборудования, Советский район). На основании представленных данных [9] можно определить следующие ЗВ, выбрасываемые в атмосферный воздух (табл. 1).

Т а б л и ц а 1

Выбросы загрязняющих веществ от промышленных предприятий

Промышленные предприятия	Выбрасываемые загрязняющие вещества
Сталелитейные	CO _x , CH ₄ , NO _x , PM _x , SO ₂
Лакокрасочные	Летучие органические соединения (VOCs).
Кожевенный	H ₂ S, VOCs, NH ₃ , CO _x , NO ₂ , SO _x
Машиностроительный	VOCs, NO _x , SO _x , PM _x , CrO ₂ , CO
Химический	CO ₂ , MgO, MgCO ₃ , NO _x , CH ₄ , PM _x
Цементный	CO ₂ , CaO, MgO, PM _x , NO _x , SO ₂ , CO

Строительные работы также выносят свой вклад в загрязнение атмосферного воздуха Волгограда. Стоит выделить источники выброса, возникающие при возведении зданий и сооружений, их внутренней и внешней отделке, строительстве дорог, движении и работе строительной техники [10, 11].

Так, в работе [10] рассмотрено выделение мелкодисперсных частиц (PM_x) при проведении земляных работ, обычно химический состав частиц, зависит от вида почв, в большинстве случаев содержатся Al₂O₃, SiO₂. В работе [11] определено, что в основном при строительстве дорожного полотна в атмосферный воздух выделяются парниковые газы (CO₂, CH₄ и N₂O), на выброс CO₂ приходится порядка 98 %. В работе [12] рассмотрено выделение ЗВ при внутренней отделке помещения. В качестве источника выброса твердых частиц рассмотрен процесс смешивания строительных растворов (песок и цемент).

Несомненный вклад в загрязнение атмосферного воздуха в холодный период года вносят котельные установки. В [13] проанализировано воздействие газовых котельных установок, определено, что в атмосферный воздух выделяются газообразные ЗВ (CO₂, CH₄).

Естественное загрязнение атмосферного воздуха определяется метеорологическими параметрами и географическим положением. Для Волгограда характерно загрязнение пылью из степных зон и аэрозолями, образованными над Каспийским морем [14–16]. Аэрозольные частицы, образующиеся над степной зоной, содержат SiO₂, Al₂SO₃, а морской аэрозоль — NaCl, NO₃⁻, Cl⁻, SO₄²⁻ (рис. 2, 3).

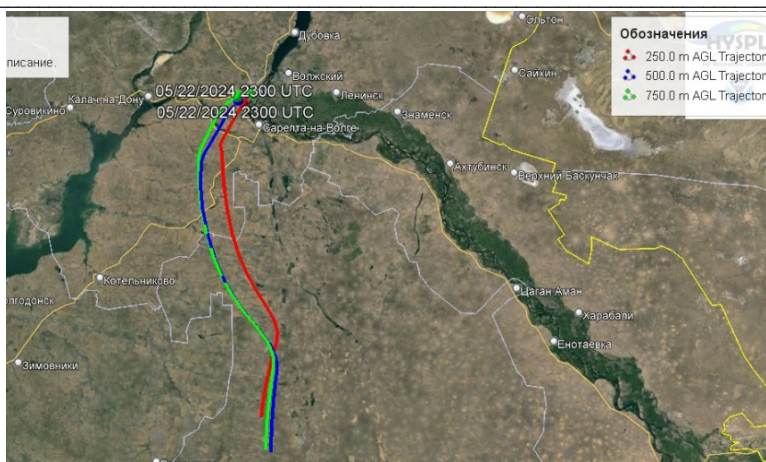


Рис. 2. Траектории движения воздушных масс (степной аэрозоль)

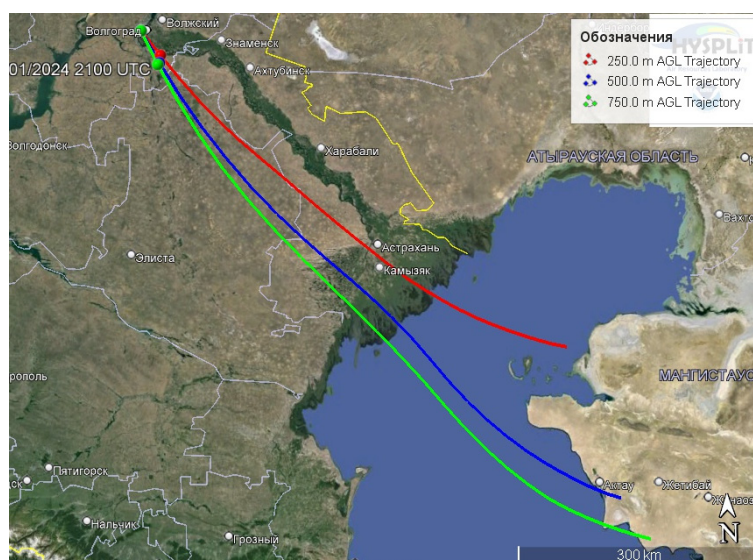


Рис. 3. Траектории движения воздушных масс (морской аэрозоль)

Воздействие на климат

Пылевые частицы, попавшие в нижний слой атмосферы, способны к трем видам взаимодействия:

- «аэрозоль — излучение» с солнечным светом — рассеяние, поглощение входящего и исходящего излучения, тем самым вызываются изменения климатических условий;
- «аэрозоль — облако» изменяет количество осадков за счет увеличения ядер конденсации, что приводит к ускорению образования облаков;
- при осаднении на лед или снег твердые частицы способны изменять их альбедо (отражательная способность) [4, 17].

Одним из примеров такого воздействия является крупное извержение вулкана Пинатубо в 1991 г. Во время извержения в атмосферу попало большое количество вулканического пепла, что способствовало увеличению

концентрации аэрозольных частиц. Одним из последствий произошедшего события, ввиду высокой отражательной способности вулканических твердых частиц, являлось снижение глобальной температуры примерно на $0,5^{\circ}\text{C}$, потребовалось около двух лет, чтобы глобальная температура вернулась к равновесному значению (рис. 4) [18, 19].

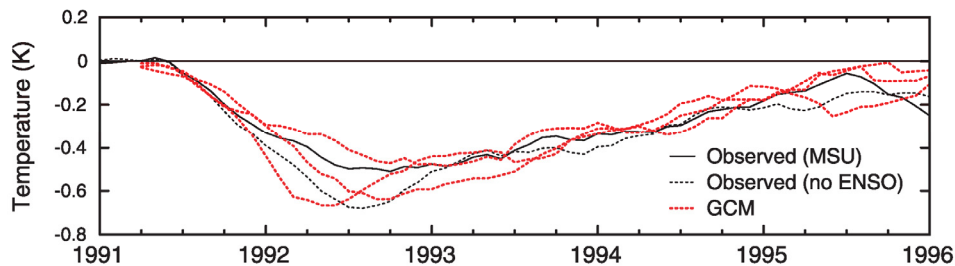


Рис. 4. Изменение глобальной температуры по годам [19]

Как было сказано ранее, твердые частицы способны осуществлять взаимодействие «аэрозоль — облако», которое происходит путем увеличения ядер конденсации и приводит к ускорению образования облаков. В работе [20] произведен долгосрочный анализ изменения количества осадков в зависимости от загрязнения атмосферного воздуха аэрозольными частицами. На основании предложенной модели (CRWRF) определено, что общее количество осадков при условии загрязнения атмосферного воздуха аэрозольными частицами, увеличивается примерно на 16 %. При высоком аэрозольном загрязнении атмосферного воздуха происходит подавление слабых осадков (< 25 мм/сут), а количество сильных осадков (> 25 мм/сут), наоборот, увеличивается.

В зависимости от химического состава аэрозольные частицы, выбрасываемые в атмосферу, могут оказывать различное воздействие. Так аэрозольные частицы, содержащие в своем составе частицы (SO_4^{2-}) поглощают входящее излучение, обладают охлаждающим эффектом. Аэрозоль, содержащий в своем составе частицы углерода, обладает как охлаждающим, так и нагревающим эффектом. Твердые частицы, содержащие в своем составе нитрат, сульфат, органический углерод обладают охлаждающим эффектом, прямое радиационное воздействие уменьшается примерно на $0,5 \text{ Вт} \cdot \text{м}^{-2}$ [21—23].

В работе [24] определено, что на ранней стадии загрязнения атмосферного воздуха при снижении радиационного потока на $180 \text{ В} \cdot \text{Вт} \cdot \text{м}^{-2}$ уменьшаются атмосферное давление и скорость ветра, что препятствует рассеиванию ЗВ. При этом непосредственное снижение температуры способствует повышению относительной влажности. Выброс аэрозольных частиц в атмосферный воздух ведет к возникновению более суровых погодных явлений (цунами, торнадо, циклоны), вызывает появление крупномасштабных осадков.

Газообразные загрязнители атмосферного воздуха, как правило, представлены газами, оказывающими парниковый эффект, среди которых можно выделить CO_2 и метан (CH_4). Парниковые газы вызывают рост глобальной температуры. Короткоживущий агент, такой как тропосферный озон (O_3), является вторичным загрязняющим агентом, который не поступает

в атмосферный воздух напрямую, а образуется в результате химических реакций из оксидов азота (NO_x) и VOCs [25, 26].

Загрязнение атмосферного воздуха оксидами азота NO_x приводит к повышению средней максимальной (t_{max}) на $0,62^\circ\text{C}$ и минимальной температуры (t_{min}) на $0,41^\circ\text{C}$, в то время как тропосферный озон (O_3) обладает охлаждающим эффектом примерно на $0,15^\circ\text{C}$ [27].

Влияние загрязнения атмосферного воздуха на объекты культурного наследия

ОКН на территории Волгограда (памятники архитектуры и градостроительства) представлены зданиями и сооружениями из керамического кирпича на известковой основе, которые в послевоенное время реконструированы или полностью перестроены с использованием известкового кирпича (рис. 5). Деревянные элементы, на которые оказывает воздействие окружающая среда, характерны для оконных проемов в местах общего пользования.



Рис. 5. Торцевая часть жилого дома (ОКН) по адресу г. Волгоград, ул. Баррикадная, д. 22 со стороны ул. Социалистической²

В работе [28] проанализировано воздействие загрязнения атмосферного воздуха на деградацию каменных материалов. Как правило, разрушение каменных материалов определяется химическими, физическими, биологическими факторами или их комбинацией.

При физическом воздействии из-за загрязнения атмосферного воздуха твердыми частицами происходит увеличение количества осадков. Вода является растворителем таких материалов, как карбонат кальция и гипс,

² Баррикадная, 22. URL: <http://царицын.рф/2014/09/412-barrikadnaya.html>.

содержащихся в искусственном камне. Кроме того, пористая структура стен подвержена воздействию солей, попадающих в воду из источников загрязнения атмосферы. Вода оказывает биологическое воздействие, способствуя биологическому разложению искусственного камня с помощью микроорганизмов. Происходит это при объединении нитратных соединений, попавших в водный раствор из атмосферного воздуха, и каменного (карбонатного) субстрата [28].

Химическое воздействие на ОКН определяется реакцией гидролиза солей или оксидов с образованием солей. Так, оксидные соединения CO_2 , NO_x , SO_x способны образовывать кислоты, которые при взаимодействии с искусственным камнем вызывают его деградацию³ [29].

Воздействие CO_2 на ОКН зависит от концентрации и температуры. В холодный период года концентрация CO_2 , как правило, выше, чем в теплый период, поэтому растворение карбоната достигает своего максимума. Обычно процесс растворения карбонатов цикличен, при повышении температуры происходит смещение реакции в сторону образования карбоната из продуктов реакции, что существенно сказывается на прочности искусственного камня [30].

Воздействие NO_x , главным образом, характеризуется реакцией гидролиза с образованием азотной кислоты. Реакция азотной кислоты с искусственным камнем, в отличие от реакции, рассмотренной выше, является необратимой, ее продуктом является нитрат кальция.

Реакция SO_2 с искусственным каменным материалом наиболее опасна. Основными источниками SO_2 являются сжигание ископаемого топлива, движение автомобильного транспорта, производственная деятельность. Гидролиз SO_2 приводит к образованию серной кислоты, которая при взаимодействии с искусственным камнем в качестве продукта реакции образуется сульфат кальция. Как правило, такое воздействие приводит к образованию черных корок на поверхности искусственного камня и приводит к ухудшению визуального вида ОКН.

Воздействие твердых частиц на ОКН определяется их химическим составом, смешиванием и рядом химических реакций в атмосферном воздухе. Удаление твердых частиц из атмосферного воздуха происходит путем мокрого или сухого осаждения. При сухом осаждении оседание частиц происходит в отсутствие воды, газы и твердые частицы не взаимодействуют между собой, скорость оседания незначительна. При мокром осаждении частиц происходит смешивание твердых частиц и газов в атмосферных каплях, оседающих на поверхность в виде дождя или тумана. Сухое осаждение является непрерывным в отличие от мокрого, для которого нужна высокая относительная влажность.

Посредством сухого осаждения происходит накопление твердых частиц на поверхности оседания и образование корок на поверхности материала, вызывая механическое истирание. При мокром оседании образованный субстрат, в зависимости от химического состава, в результате гидролиза солей с образованием кислот способен повреждать искусственный камень [31, 32].

³ The Early Keeling Curve Scripps CO_2 Program. URL: https://scrippsco2.ucsd.edu/history_legacy/early_keeling_curve.html.

В работе [33] в качестве основного критерия деградации ОКН выбрано солевое выветривание. Такой вид воздействия возникает из-за изменения фазы относительной влажности. Изменение фазы относительной влажности приводит к увеличению циклов «кристаллизация — растворение» солей, попавших в искусственный камень (кирпич). Количество циклов определяется критической точкой разжижения, которая, например, для хлорида натрия составляет 75,3 %. Зная точку разжижения, можно определить количество переходов (циклов).

Воздействие загрязнений атмосферного воздуха на деревянные конструкции ОКН, главным образом, определяется изменением фазы относительной влажности. Так при повышении относительной влажности на дерево оказывает воздействие гриб *Serpula lacrymans* (домовой гриб), его воздействие может привести к потере до 70 % сухой массы за 6 месяцев [34].

Заключение

На основании проведенного исследования удалось определить, что одним из главных факторов экологического риска, приводящих к деградации ОКН является загрязнение атмосферного воздуха. Воздействие загрязнения атмосферного воздуха на ОКН может быть прямым или косвенным (изменение климата). Стоит выделить следующие виды воздействия загрязнения атмосферного воздуха на ОКН:

- твердые частицы в зависимости от способа удаления из атмосферного воздуха (сухой, мокрый), способны оказывать различное воздействие. При сухом оседании происходит механическое истирание поверхности осадения, образование корок на поверхности, защищенной от дождя. При мокром оседании частиц из атмосферного воздуха твердые частицы и газы перемешиваются и осаждаются в виде тумана или дождя. Мокрый способ осадения посредством гидролиза солей или газов, например SO_2 , может привести к образованию кислот и кислотных дождей;
- воздействие выбросов CO_2 определяется реакцией гидролиза, интенсивность ее зависит от температуры окружающей среды. В холодный период реакция растворения карбонатов из-за CO_2 протекает интенсивнее, при этом представленная реакция является цикличной, что, в конечном счете, влияет на прочность искусственного камня (кирпича);
- реакция гидролиза оксидов NO_x в значительной степени определяет растворение карбонатов; в отличие от реакции с CO_2 она является необратимой, продуктом этой реакции является нитрат кальция;
- воздействие SO_2 на ОКН определяется реакцией гидролиза с образованием серной кислоты, которая растворяет карбонаты с образованием сульфата кальция. Такое воздействие приводит к образованию черных корок на поверхности искусственного камня и к ухудшению визуального вида ОКН;
- солевое выветривание является одним из деградационных воздействий циклов «кристаллизация — растворение» солей на ОКН. Определяется критической точкой разжижения;
- воздействие загрязнений атмосферного воздуха на деревянные конструкции ОКН определяется изменением фазы относительной влажности. При повышении относительной влажности на дерево оказывает воздействие гриб *Serpula lacrymans* (домовой гриб), что может привести к потере примерно 70 % сухой массы за 6 месяцев.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Carroll P., Aarrevaara E.* Review of Potential Risk Factors of Cultural Heritage Sites and Initial Modelling for Adaptation to Climate Change // *Geosciences*. 2018. Vol. 8. P. 322. DOI: 10.3390/geosciences8090322.
2. *Forino G., MacKee J., Meding J.* A proposed assessment index for climate change-related risk for cultural heritage protection in Newcastle (Australia) // *International Journal of Disaster Risk Reduction*. 2016. Vol. 19. Pp. 235—248. DOI: 10.1016/j.ijdr.2016.09.003.
3. *Kaslegard A.* Climate Change and Cultural Heritage in the Nordic Countries // *Nordic Council of Ministers*. Copenhagen. Denmark, 2011. P. 55.
4. *Di Antonio A.* Development of novel methodologies for utilizing low-cost sensors for ambient Particulate Matter measurement // *Apollo — University of Cambridge Repository*https. 2020. DOI: 10.17863/CAM.68376.
5. Analysis of the National Annual Emission of Pollutants from Road Transport in Poland in the Years 1990–2020 / K. Szczepański., K. Bebkiewicz., Z. Chłopek., H. Sar., D. Zakrzewska // *Energies*. 2023. Vol. 16. P. 4083. DOI: 10.3390/en16104083.
6. *Calderón-Ramírez J., Gutiérrez-Moreno J. M., Montoya-Alcaraz M., Casillas A.* A Measurement of Road Transport Emissions, Case Study: Centinela-La Rumorosa Road, Baja California, México / *Appl. Sci*. 2014. Vol. 14. P. 2921. DOI: 10.3390/app14072921.
7. Contribution of Road Vehicle Tyre Wear to Microplastics and Ambient Air Pollution / B. Giechaskiel., T. Grigoratos., M. Mathissen., J. Quik., P. Tromp., M. Gustafsson., V. Franco., P. Dilara // *Sustainability*. 2024. Vol. 16. P. 522. DOI: 10.3390/su16020522.
8. Concentrations of tire wear microplastics and other traffic-derived non-exhaust particles in the road environment / I. Järlskog., D. Jaramillo-Vogel., J. Rausch., M. Gustafsson., A. M. Strömvall., Y. Andersson-Sköld // *Environment International*. 2022. Vol. 170. P. 107618. DOI: 10.1016/j.envint.2022.107618.
9. *Православнова Е. П.* О состоянии окружающей среды Волгоградской области в 2023 году: доклад. Ижевск, 2023. 300 с.
10. *Ахмедов А. М.* Исследование конфигурации поверхности виртуального источника загрязнения воздушной среды при земляных работах в строительстве // *Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура*. 2025. Вып. 1(98). С. 220—228. DOI: 10.35211/18154360_2025_1_220.
11. *Jia Q., Al-Ansari N., Knutsson S.* Measurement of dust emission from a road construction using exposure-profiling method // *Natural Science*. 2013. Vol. 5. Pp. 1255—1263. DOI: 10.4236/ns.2013.512153.
12. *Khan M., Khan N., Skibniewski M. J., Park C.* Environmental Particulate Matter (PM) Exposure Assessment of Construction Activities Using Low-Cost PM Sensor and Latin Hypercube Technique // *Sustainability*. 2021. Vol. 13. P. 7797. DOI: 10.3390/su13147797.
13. *Neirotti F., Noussan M., Simonetti M.* Evaluating the Emissions of the Heat Supplied by District Heating Networks through A Life Cycle Perspective // *Clean Technol*. 2020. Vol. 2. Pp. 392—405. DOI: 10.3390/cleantechnol2040024.
14. *Гаспарян А. С., Азаров В. Н., Кленин И. С., Азарова М. Д.* Анализ характеристик пыли природного происхождения Нижнего Поволжья // *Инженерный вестник Дона*. 2022. № 9(93). С. 200—207.
15. NOAA's HYSPLIT Atmospheric Transport and Dispersion Modeling System / A. F. Stein., R. R. Draxler., G. D. Rolph., B. J. B. Stunder., M. D. Cohen., F. Ngan // *Bull. Amer. Meteor. Soc*. 2015. Vol. 96. Pp. 2059—2077. DOI: 10.1175/BAMS-D-14-00110.1.
16. *Rolph G., Stein A., Stunder B.* Real-time Environmental Applications and Display System: READY // *Environmental Modelling & Software*. 2017. Vol. 95. Pp. 210—228. DOI: 10.1016/j.envsoft.2017.06.025.
17. *Seinfeld J. H., Pandis S. N.* Atmospheric chemistry and physics: from air pollution to climate change. John Wiley & Sons, Inc., 2006. P. 1149.
18. *Salby M. L.* Physics of the atmosphere and climate. Cambridge University Press, 2012. P. 666.
19. *Soden B. J., Wetherald R. T., Stenchikov G. L., Robock A.* Global Cooling After the Eruption of Mount Pinatubo: A Test of Climate Feedback by Water Vapor // *Science*. 2002. Vol. 296. Pp. 727—730.

20. Long-term impacts of aerosols on precipitation and lightning over the Pearl River Delta megacity area in China / Y. Wang., Q. Wan., W. Meng., F. Liao., H. Tan., R. Zhang // *Atmos. Chem. Phys.* 2011. Vol. 11. Pp. 12421—12436. DOI: 10.5194/acp-11-12421-2011.
21. Solomon S., Qin D., Manning M. Synthesis Report. In Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press: Cambridge. 2007. P. 104.
22. Ramanathan V., Crutzen P. J., Kiehl J. T., Rosenfeld D. Aerosols, Climate, and the Hydrological Cycle // *Science*. 2001. Vol. 5549. Pp. 2119—2124. DOI: 10.1126/science.1064034.
23. Jacobson M. Z. Atmospheric Pollution: History, Sciences and Regulation. Cambridge University. 2002. P. 399.
24. Ling X., Han X. Aerosol Impacts on Meteorological Elements and Surface Energy Budget over an Urban Cluster Region in the Yangtze River Delta // *Aerosol Air Qual. Res.* 2019. Vol. 19. Pp. 1040—1055. DOI: 10.4209/aaqr.2017.12.0602.
25. Zhang D., Raghupathi W., Raghupathi V. Exploring the Effects of Greenhouse Gases and Particulate Emissions on Quality of Life: A Country-Level Empirical Study // *Climate*. 2024. Vol. 12. P. 176. DOI: 10.3390/cli12110176.
26. Moore F. C. Climate Change and Air Pollution: Exploring the Synergies and Potential for Mitigation in Industrializing Countries // *Sustainability*. 2009. Vol. 1. Pp. 43—54. DOI: 10.3390/su1010043.
27. Investigating the Potential Climatic Effects of Atmospheric Pollution across China under the National Clean Air Action Plan / A. Dilawar., B. Chen., Z. Ul-Haq., M. Amir., A. Arshad., M. Hassan., M. Guo., M. Shafeeqe., J. Fang., B. Song., H. Zhang // *Remote Sens.* 2023. Vol. 15. P. 2084. DOI: 10.3390/rs15082084.
28. Ruffolo S. A., La Russa M. F., Rovella N., Ricca M. The Impact of Air Pollution on Stone Materials // *Environments*. 2023. Vol. 10. P. 110. DOI: 10.3390/environments10070119.
29. Fassina V. 46-Influenza dell'inquinamento atmosferico sui processi di degrado dei materiali lapidei // In Bollettino d'Arte "Materiali Lapidari-Problemi Relativi Allo Studio Del Degrado e Conservazione". 1987. Pp. 19—47.
30. Fassina V., Favaro M., Crivellari F., Naccari A. The stone decay of monuments in relation to atmospheric environment // *Ann. Di Chim.* 2001. Vol. 91. Pp. 767—774.
31. Amoroso G., Fassina V. Stone Decay and Conservation. Atmospheric Pollution, Cleaning, Consolidation and Protection // *Studies in Conservation*. 1984. P. 474. DOI: 10.2307/1506020.
32. Vergès-Belmin V. Illustrated Glossary on Stone Deterioration Patterns. France: ICOMOS. 2008.
33. Vyshkvarkova E., Sukhonos O. Climate Change Impact on the Cultural Heritage Sites in the European Part of Russia over the Past 60 Years. 2023. Vol. 11. P. 50. DOI: 10.3390/cli11030050.
34. Andres B., Betlej I., Nowacka M., Boruszewski P. Analysis of the Factors Leading to the Degradation of Wooden Cultural Heritage Based on the Example of a 16th-Century Sacred Monument in Poland // *Appl. Sci.* 2024. Vol. 14. P. 11475. DOI: 10.3390/app142411475.

© Черепанов В. Ю., Лупиногин В. В., Лясин Р. А., 2025

Поступила в редакцию
16.06.2025

Ссылка для цитирования:

Черепанов В. Ю., Лупиногин В. В., Лясин Р. А. Влияние факторов экологического риска на сохранность объектов культурного наследия // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2025. Вып. 3(100). С. 185—195. DOI: 10.35211/18154360_2025_3_185.

Об авторах:

Черепанов Вадим Юрьевич — аспирант, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; gsm_2010@mail.ru

Лупиногин Владислав Владимирович — канд. техн. наук, ст. препод. каф. строительных материалов и специальных технологий, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; smist2012-2013@yandex.ru

Лясин Роман Андреевич — аспирант, Волгоградский государственный технический университет (ВолГГТУ). Российская Федерация, 400074, Волгоград, ул. Академическая, 1; roman.lyasin@mail.ru

Vadim Yu. Cherepanov, Vladislav V. Lupinogin, Roman A. Lyasin

Volgograd State Technical University

THE INFLUENCE OF ENVIRONMENTAL RISK FACTORS ON THE PRESERVATION OF CULTURAL HERITAGE SITES

The growth of industrial production, due to active urbanization, leads to an increase in the amount of pollutants released into the atmospheric air. The impact of atmospheric air pollution mainly depends on the aggregate state of the pollutant. Thus, solid particles are capable of affecting cultural heritage sites by mechanical abrasion of the settling surface, as well as chemical, during the hydrolysis of salts to form acids. In turn, emissions of gaseous substances contribute to the occurrence of acid rain.

Key words: cultural heritage site, atmospheric air, precipitation, atmospheric air pollution, climate change, environmental risk, adhesion, solid particles, gaseous pollutants.

For citation:

Cherepanov V. Yu., Lupinogin V. V., Lyasin R. A. [The influence of environmental risk factors on the preservation of cultural heritage sites]. *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], 2025, iss. 3, pp. 185—195. DOI: 10.35211/18154360_2025_3_185.

About authors:

Vadim Yu. Cherepanov — Postgraduate student, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; gsm_2010@mail.ru

Vladislav V. Lupinogin — Candidate of Engineering Sciences, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; smist2012-2013@yandex.ru

Roman A. Lyasin — Postgraduate student, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; roman.lyasin@mail.ru