

УДК 72.025.4:504

Т. К. Акчурина, В. В. Лупиногин, О. В. Душко, В. Г. Поляков

Волгоградский государственный технический университет

МЕТОДЫ ЗАЩИТЫ ОТ НЕГАТИВНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ ОБЪЕКТОВ КУЛЬТУРНОГО НАСЛЕДИЯ

Рассмотрено влияние твердых пылевых частиц грибкового и бактериального загрязнения на составляющие материалы (натуральный камень, бетонные и штукатурные композиты) объектов культурного наследия. Проанализированы источники негативного воздействия на поверхности таких объектов, изучены и предложены различные защитные меры по повышению эксплуатационных характеристик объектов культурного наследия.

К л ю ч е в ы е с л о в а: пылевые частицы, мономеры, аэрозоль, объекты культурного наследия, атмосферный воздух, твердые частицы, адгезия пыли, соли, загрязнение атмосферного воздуха, плесень, плесневые грибы, биоповреждения, гидрофобизация, методы защиты.

На территории Волгоградской области насчитывается примерно 2000 объектов культурного наследия, при том, что данный список подвергается корректировке. К объектам культурного наследия, располагающимся на территории Волгоградской области, относятся памятники истории, архитектуры и строительства, археологии, находящиеся в состоянии от аварийного до хорошего. Представленное исследование посвящено воздействию твердых частиц только на памятники архитектуры и строительства (здания). Отметим, что наибольшее количество объектов культурного наследия располагается на территории г. Волгограда.

Загрязнение атмосферного воздуха твердыми частицами является одной из главных проблем развития промышленного производства и активной урбанизации. Источники аэрозольных частиц можно разделить на первичные и вторичные, а также на антропогенные и природные. Вторичные аэрозоли, в отличие от первичных, преобладают в городской среде и характерны для антропогенных источников загрязнения атмосферного воздуха [1—3]. В основном все аэрозоли, находящиеся в атмосферном воздухе крупных городов, являются углеродосодержащими (органическими), однако в определенных случаях преобладают неорганические соединения ($(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, NH_4NO_3 , NaCl и др., содержащие указанные активные группы). В дальнейшем твердые частицы, находящиеся в составе аэрозоля или образующиеся в результате химических реакций из газов в нижнем слое атмосферы, осаждаются на сооружениях (зданиях, памятниках и т. п.). Воздействие аммонийных солей на составляющие материалы объектов культурного наследия приводит к их коррозии, которая при влажном способе осаждения способна увеличивать влажность материала и способствовать образованию кислот из солей. При сухом способе осаждения из-за неправильной формы частиц при трении о поверхность материала происходит механический износ объектов. Кроме того, твердые частицы могут содержать в своем составе споры плесневых грибов, приводящих к биоповреждению. Доказано их участие в деструкции бетонных и каменных поверхностей. Грибы разрушают каменные материалы не только

химически, но и механически — установлено, что поверхностная прочность снижается до 2 раз [4, 5]. Одна из весомых причин появления и развития биоповреждений — конденсационные процессы. Наиболее активно подвергаются воздействию суммы всех разрушающих, отрицательных факторов материалы объектов культурного наследия: активной урбанизации, загрязнения атмосферного воздуха твердыми частицами и аэрозолями, образования кислот из солей, биоповреждения и т. п.

Источники загрязнения атмосферного воздуха твердыми частицами

Как уже упоминалось, источники образования аэрозолей и сами аэрозоли можно разделить на антропогенные и природные, первичные и вторичные.

Первичные частицы образуются механическим путем под действием ветра с образованием взвесей [1—3].

Вторичные частицы образуются путем превращения газа в частицы (конденсация), добавления нового материала к аэрозолю. Вторичные аэрозоли, в отличие от первичных, преобладают в городской среде и характерны для антропогенных источников загрязнения атмосферного воздуха [1].

Процесс образования аэрозольных частиц посредством нуклеации происходит при конденсации с образованием твердого или жидкого вещества. Зародышеобразование происходит в результате гетерогенных и гомогенных химических реакций [6].

Большая часть вторичных аэрозольных частиц в атмосферном воздухе представляет собой продукт гетерогенного зародышеобразования, происходящего за счет конденсации на существующих частицах. При гомогенном зародышеобразовании аэрозольных частиц создаются молекулы с образованием новых веществ без ранее существовавших частиц [6].

Для Волгограда, как и для всех крупных мегаполисов характерны следующие источники загрязнения атмосферного воздуха твердыми частицами (табл.).

Источники аэрозольных частиц в городской среде

Наименование источника выброса (выделения)	Загрязняющее вещество	Ссылка
Автомобильный транспорт (выхлопные и невыхлопные частицы)	твердые частицы (PM _{2.5} , PM ₁₀ , TSP)	[7—9]
Промышленные предприятия		[10—12]
Сжигание биомассы (местные котельные, дымовые печи)		[13]
Бытовая деятельность человека (индивидуальные печи)		[14, 15]
Строительные работы (земляные работы, дорожное строительство)		[16—19]
Естественные источники (пыльные бури, морские брызги, выбросы горных пород и обломков почвы)		[20—23]

Автомобильный транспорт

Волгоград относится к городу линейного (ленточного) типа, т. к. его протяженность (длина) во много раз больше его ширины. Для Волгограда движение автомобильного транспорта осуществляется преимущественно по магистралям (0-я Продольная, 1-я Продольная, 2-я Продольная и 3-я Продольная), которые располагаются в непосредственной близости от селитебных зон [24].

При движении автомобильного транспорта могут образовываться как выхлопные, так и невыхлопные твердые частицы. Образующиеся твердые частицы, не связанные с выхлопными газами, можно разделить на следующие категории: органические частицы (микропластик шин, дорожной разметки, дорожного битума), металлические частицы (Fe, Cu, Zn, Pb) преобладающие при износе тормозов [7, 8]. Выхлопные частицы образуются при сгорании топлива и испарении смазочных материалов. Количество выхлопных частиц зависит от вида используемого топлива (бензин, газ, дизель), типа двигателя (дизельный с воспламенением от сжатия, бензиновый с искровым зажиганием, бензиновый с непосредственным впрыском), состояния двигателя, катализатора выхлопных газов, используемого смазочного материала, эксплуатационного цикла [9].

Промышленные предприятия

Промышленные предприятия относятся к тяжелой и легкой промышленности. Тяжелая промышленность включает следующие объекты: угольные электростанции, сталелитейные, химические, целлюлозно-бумажные, цементные заводы и т. п. [10]. К легкой промышленности относятся предприятия, производящие товары народного потребления [11].

На территории Волгограда и соседствующих районов функционируют следующие предприятия тяжелой промышленности, которые являются источниками выброса твердых частиц: АО ВМК «Красный Октябрь» (Краснооктябрьский район); АО «Каустик» (Красноармейский район); ОАО «Волгограднефтемаш» (Советский район); ООО «Радуга. Цинк. Лист» (Дзержинский район) и др. К предприятиям легкой промышленности, являющимися источником загрязнения атмосферы твердыми частицами на территории Волгограда относятся: ООО ПО «Шеврет» (Советский район); ООО «ВИТ» (Городищенский район) и др [24].

Сжигание биомассы

Сюда можно отнести выбросы от агропромышленных предприятий, сжигания отходов. В работе [12] авторами выделены источники аэрозольных частиц при сжигании биомассы: производство древесного угля, сжигание мусора, пожары, сжигание биотоплива. На территории Волгограда источниками твердых частиц также являются несанкционированное сжигание мусора, пожары [24].

Бытовая деятельность человека

В исследованиях [13, 14] в качестве источников бытового аэрозоля определены местные котельные и индивидуальные печи.

Строительные работы

Источниками выброса твердых частиц могут быть работы, связанные с дорожным строительством, возведением и строительством различных сооружений, работы по внешней и внутренней отделке зданий [15, 16].

Естественные источники

В работе [17] исследовалось влияние пыльных бурь на загрязнение атмосферного воздуха. Рассмотрены механизмы образования пыльных бурь, их влияние на окружающую среду.

Грибковое поражение

Необходимо отметить, что наиболее активно подвергаются воздействию микроорганизмов исторические центры городов, т. е. объекты культурного наследия. Во многих объектах наблюдается биокоррозия кирпичной кладки, штукатурного слоя, деревянной обрешетки, строительных конструкций и т. д. При проведении обследований установлены виды разрушающих грибов. Одна из весомых причин появления и развития биоповреждений строений и их поверхностей — конденсационные процессы. Работами многих ученых доказано участие микромицетов в разрушении бетонных и каменных конструкций, которое проявлялось в снижении их поверхностной прочности на 35...43 %.

Грибы разрушают каменные материалы не только химически, но и механически. Рост биомассы микромицетов, внедрившихся в поры и микротрещины, способствует расширению последних и усталостному разрушению камня. Отмечено, что грибы, растущие на камнях, задерживают пыль и грязь, заносимые ветром и птицами.

Определение гигроскопического компонента в атмосфере

Для определения гигроскопичного химического элемента в атмосферном воздухе нами использовался коэффициент k (Келлера).

В настоящее время на территории Волгограда функционируют 4 станции мониторинга состояния атмосферного воздуха Sensor Community. В состав укомплектованной станции входят датчики Nova SDS011, BME 280.

Nova SDS011 — счетчик частиц, разработанный в Шаньдунском университете (Китай). Как и другие оптические счетчики частиц использует принцип лазерного рассеяния, с помощью которого определяется концентрация частиц. Датчик Nova SDS011 производит измерения с частотой 1 ГЦ.

Bosch BME 280 — цифровой датчик температуры, относительной влажности, атмосферного давления, производимый фирмой Bosch (Германия).

Метод основан на определении объемной концентрации частиц с использованием уравнения [18]:

$$q(RH) = \frac{D_{wet}(RH)}{D_{dry}}, \quad (1)$$

где D_{dry} — диаметр сухой частицы; D_{wet} — диаметр частицы в данный момент времени.

В соответствие с [18] представленное уравнение можно преобразовать:

$$C(RH) = \left(1 + k \frac{RH}{100 - RH} \right),$$

где $C(RH)$ — кратность увеличения массовой концентрации; RH — относительная влажность, %; k — коэффициент, характеризующий степень гигроскопичности частиц.

В [18] представлены следующие коэффициенты Келлера: $k((\text{NH}_4)_2\text{SO}_4) = 0,61$; $k(\text{NH}_4\text{NO}_3) = 0,67$; $k(\text{NaCl}) = 1,28$.

Для определения основного гигроскопичного химического соединения в атмосферном воздухе построим графики функций, характеризующих рассматриваемые соединения $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, NH_4NO_3 , NaCl относительно роста концентрации частиц $\text{PM}_{2,5}$ и PM_{10} датчика Nova SDS011 (рис. 1—4).

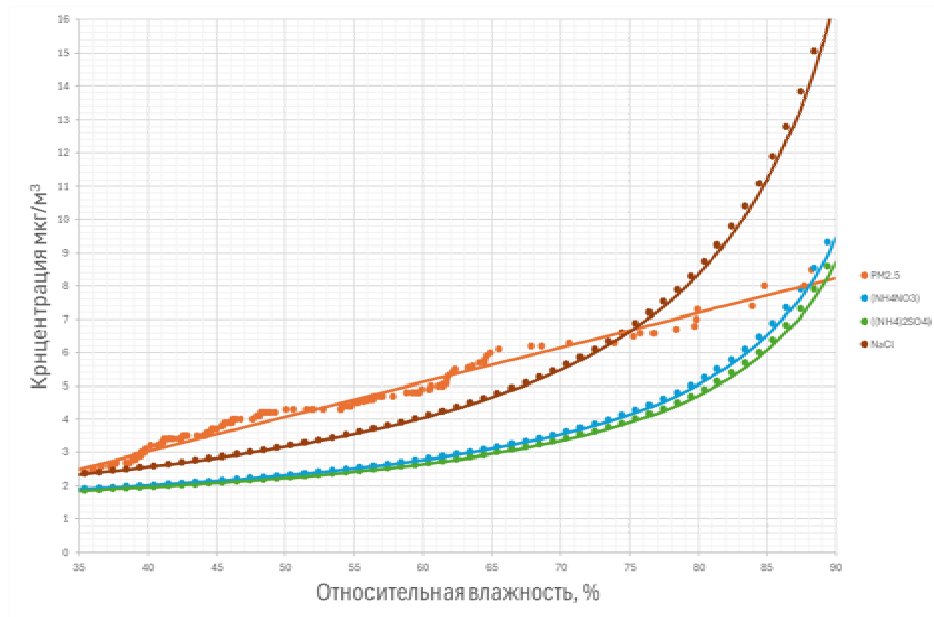


Рис. 1. Функции роста концентрации частиц $\text{PM}_{2,5}$ и рассматриваемых химических соединений в теплый период года

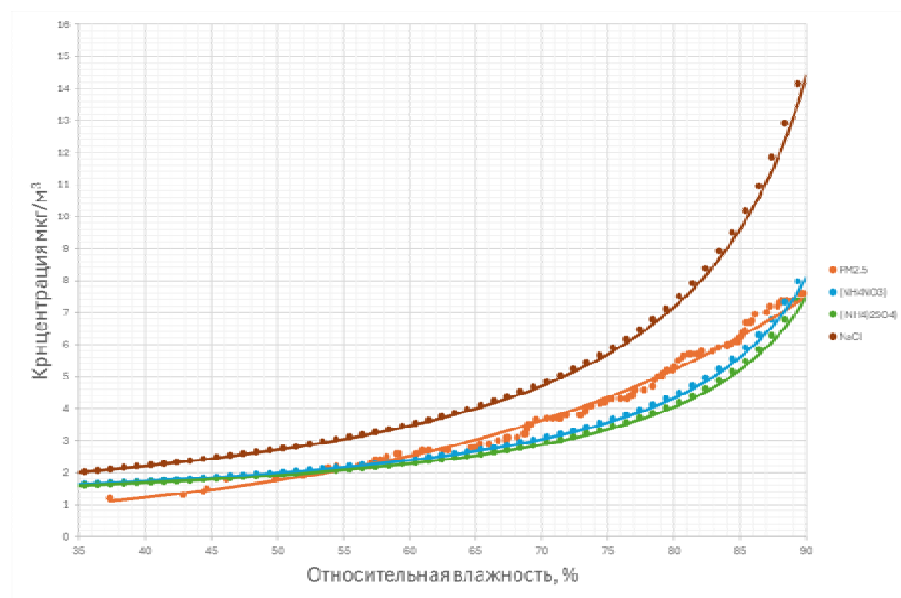


Рис. 2. Функции роста концентрации частиц $\text{PM}_{2,5}$ и рассматриваемых химических соединений в холодный период года

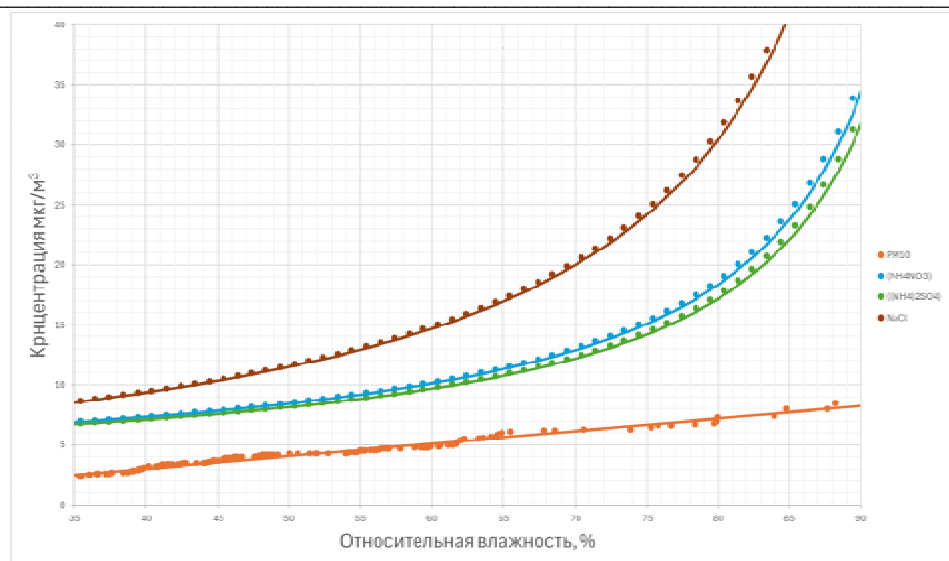


Рис. 3. Функции роста концентрации частиц PM10 и рассматриваемых химических соединений в теплый период года

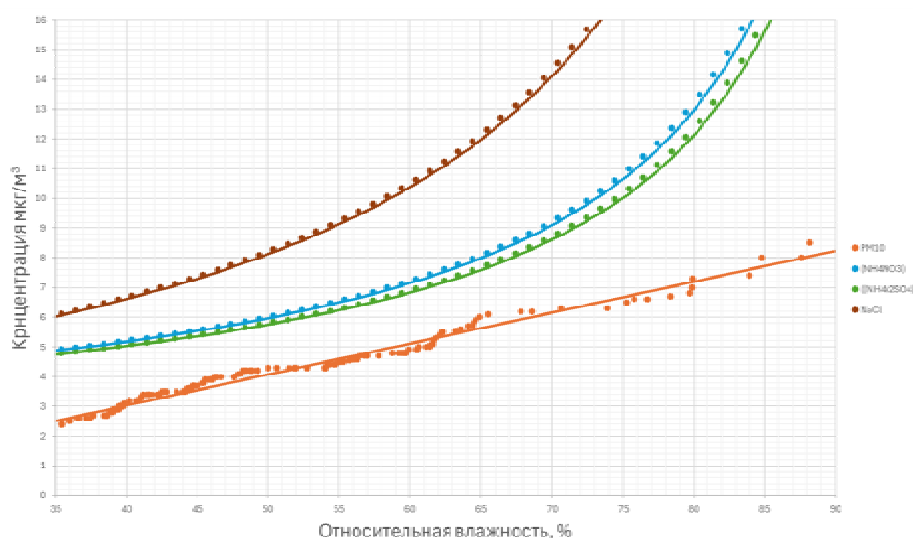


Рис. 4. Функции роста концентрации частиц PM10 и рассматриваемых химических соединений в холодный период года

На основании представленных функций можно определить, что основным гигроскопическим элементом в составе частиц PM2,5 является в теплый период NaCl, в холодный период — NH_4NO_3 . При этом с увеличением диаметра частиц до PM10 наблюдается совершенно другая картина — и в теплый, и в холодный период основным гигроскопическим соединением становится $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$. Представленные функции хорошо иллюстрируют преобладание частиц, образованных от вторичных источников выброса. Как правило, вторичные твердые частицы по сравнению со первичными имеют значительно меньший диаметр [3].

Влияние твердых частиц PM₁₀, PM_{2,5}, содержащих гигроскопичные химические соединения, на объекты культурного наследия.

Объекты культурного наследия (памятники архитектуры и строительства), как правило, состоят из природного камня (мрамор, гранит, известняк). В работе [19] авторами проведен обзор работ, затрагивающих процесс эрозии природного камня при воздействии на него солей (хлорид натрия, сульфат кальция, сульфат магния, нитрат натрия). В ряде исследований [20] NaCl считается одной из наименее эрозионно эффективной солью по сравнению с другими, более агрессивными солями (нитрат натрия, сульфат магния). При этом в [19] подчеркивается важность оценки эрозионного воздействия смеси солей на натуральный камень, а не отдельной соли NaCl. Так в [21] оценивалось воздействие смеси солей (сульфат кальция, хлорид натрия, сульфат магния) на натуральный камень. Авторами [21] определено эрозионное взаимодействие представленной смеси в сухом и влажном состоянии, наибольший эрозионный эффект наблюдался во влажном состоянии. Причем эрозионный эффект рассматриваемой смеси оказался выше, чем его отдельных компонентов.

Аммониевые соли (сульфат аммония, нитрат аммония) являются более активными эрозионными элементами, вызывающими разрушение натурального камня [22]. Так кислоты (серная, азотная), образующиеся при взаимодействии этих солей с водой, способны значительно влиять на структуру натурального камня [23]. Например, при взаимодействии натурального камня с азотной кислотой происходит разложение карбоната кальция, приводящее к образованию нитрата кальция на стенах [25].

Описанные процессы приводят к необходимости создавать защитные меры от повреждений, как самих объектов культурного наследия, так и их поверхностей.

Цементный бетон обладает большой поверхностной активностью и способен адсорбировать самые различные вещества, в т. ч. микроорганизмы [1, 2]. Это относится и к кирпичным поверхностям, гипсовым штукатуркам, поверхностям из каменных материалов [26, 27]. Анализ работ российских и зарубежных авторов позволил обобщить основные методы борьбы с повреждениями объектов культурного наследия. На рисунке 5 приведена классификация методов защиты от биоповреждений [4, 5].

К химическим методам следует отнести флюатирование, кремнефторизацию, пропитку мономерами. В процессе пропитки бетона мономером с последующей полимеризацией резко уменьшается пористость, что приводит к повышению прочности поверхности бетона и, следовательно, к повышению эксплуатационных характеристик бетонных поверхностей.

Наиболее эффективным, на наш взгляд, является гидрофобизация поверхностей как пористых, так и плотных материалов. Из всех доступных материалов самыми эффективными являются кремнийорганические — метилсиликонаты и этилсиликонаты натрия (ГКЖ-10, ГКЖ-11) и обладающий наибольшим гидрофобизирующим эффектом полиэтилсилоксан (ГКЖ-94) [26].

Пленка, образующаяся после нанесения гидрофобизаторов, приобретает водоотталкивающие свойства. Эффект несмачиваемости защитного покрытия сохраняется в течение 9...10 лет.

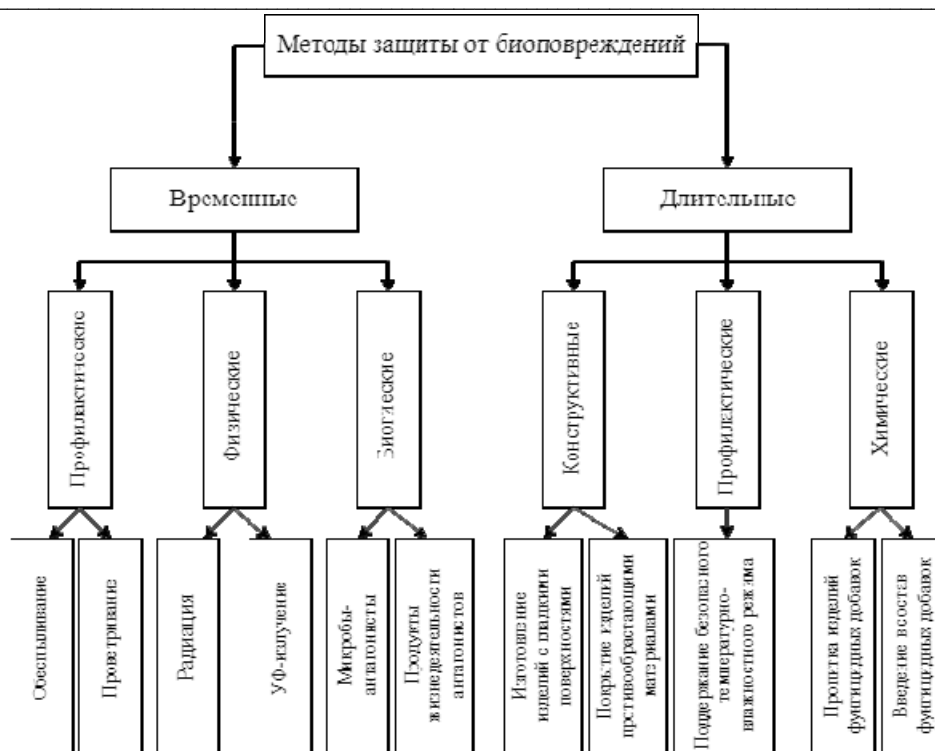


Рис 5. Классификация методов защиты

На рисунке 6 приведена классификация и методы защиты от воздействия твердых частиц, аэрозольных частиц, солей и т. д.



Рис 6. Классификация и методы защиты от воздействия твердых частиц

На поверхностях объектов культурного наследия вследствие негативного воздействия на их долговечность, а также длительного времени эксплуатации происходит образование трещин, и заделку трещин и сколов необходимо выполнять, в основном используя полимерные композиты. Таковыми, в первую очередь, являются составы на основе эпоксидных смол, высокомолекулярные углеводороды в смеси с карбоновыми кислотами, сополимеры и т. д. «Залечивание» трещин необходимо проводить, используя специальные методики для каждого конкретного случая.

Особое место занимают методы защиты от разрушения кирпичных поверхностей («глиняные» кирпичные поверхности, силикатные кирпичные поверхности). Например, известный объект культурного наследия — дом купца А. М. Шлыкова (учебный корпус А ИАиС ВолгГТУ) выполнен из силикатного кирпича и окрашен красочным составом на основе железного сурика. Срок службы такой окраски 5...6 лет, т. к. под воздействием дождя и снега он «смывается», что приводит к разрушению стен здания.

В последнее время с появлением фасадных красок нового поколения срок службы таких составов возрос до 15...20 лет, особенно при добавлении в их состав фунгицидов.

Задачи повышения долговечности зданий, строительных конструкций и поверхностей объектов культурного наследия неразрывно связаны с проблемами сохранения высоких эксплуатационных характеристик конструкций из дерева, т. к. они являются наиболее уязвимыми к течению времени.

Объекты культурного наследия XIX—XX вв. зачастую имеют конструкции и элементы, состоящие из дерева (стропила, обрешетки, перекрытия и т. д.) и вопросы защиты от разрушения, вызываемого биологическими агентами (домовые грибы, плесень, гнили, жучки-точильщики, червоточины и др.), приводят к необходимости проводить профилактику биоповреждений различными методами. Следует отметить, что защиту древесины от биоповреждений целесообразно совмещать с защитными мерами от возгорания. Установлено, что многие антиперены одновременно усиливают биоцидные свойства антисептиков. Защита деревянных изделий, конструкций из дерева объектов культурного наследия от биоповреждений должна осуществляться комплексно и включает:

- профилактику биоповреждений;
- применение химических средств защиты (антисептиков, инсектицидов, трудно смываемых масел, влагостойких лакокрасочных покрытий и др.);
- предотвращение увлажнения, обеспечение вентиляции.

В настоящее время для уменьшения эксплуатационного старения и повышения стойкости к биоповреждениям необходимо применять всю номенклатуру фунгицидных препаратов, гидрофобизаторов, лакокрасочных покрытий, антимикробных препаратов (производных гуанидина) и других химических соединений и препаратов, в первую очередь отечественного производства. Следует отметить, что российские предприятия химической отрасли способны удовлетворить потребности в эффективных материалах для защиты древесины от биоповреждений.

Выводы

В результате проведенных исследований установлено, что загрязнение атмосферного воздуха твердыми частицами, в особенности от вторичных

источников, в значительной степени влияет на объекты культурного наследия (памятники архитектуры и строительства). На основании проведенного исследования можно отметить следующее:

- вторичные источники в значительной степени определяют химический состав частиц. Так наиболее вероятными химическими соединениями в атмосфере являются сульфат аммония, нитрат аммония, которые образуются из газов в результате химических реакций;
- на основании представленных функций можно определить, что основным гигроскопическим соединением в составе частиц PM_{2,5} являются в теплый период хлористый натрий, в холодный период нитрат аммония. При этом с увеличением диаметра частиц до PM₁₀ картина меняется — основным гигроскопическим соединением и в теплый, и холодный периоды становится сульфат аммония;
- аммониевые соли (сульфат аммония, нитрат аммония) являются более активными эрозионными соединениями, вызывающими разрушение натурального камня. Хлорид натрия имеет незначительный эрозионный эффект, а разрушение материала происходит только при высыхании смеси хлорида натрия с другими солями в результате механического воздействия;
- определены классификация и методы защиты от биоповреждений;
- предложены меры защиты объектов культурного наследия в зависимости от вида и характера бетонных и каменных поверхностей;
- рассмотрены наиболее доступные и экономичные материалы для достижения этих целей.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Pöschl U. Atmospheric aerosols: composition, transformation, climate and health effects // *Angewandte Chemie*. 2005. Vol. 44, 46. Pp. 7520.
2. Buseck P., Schwartz S. Tropospheric Aerosols // *Treatise on Geochemistry*. 2003. Vol. 4. Pp. 91—142.
3. Colbeck I., Lazaridis M. Aerosols and environmental pollution // *Die Naturwissenschaften*. 2009. Vol. 97. P. 117.
4. Ерофеев В. Т., Комохов П. Г., Смирнов В. Ф., Светлов Д. А. Защита зданий и сооружений от биоповреждений биоцидными препаратами на основе гуанидина. СПб.: Наука, 2010. 192 с.
5. Ерофеев В. Т., Комохов П. Г., Смирнов В. Ф., Светлов Д. А. Защита зданий и сооружений от микробиологических повреждений биоцидными препаратами на основе гуанидина. СПб.: Наука, 2009. 192 с.
6. Sokan-Adeaga A. A., REE A. G., Sokan-Adeaga M. A., Sokan-Adeaga E. D. Secondary inorganic aerosols: impacts on the global climate system and human health // *Biodiversity Int J*. 2019. Vol. 3. Iss. 6. Pp. 249—259.
7. Järnskog I., Jaramillo-Vogel D., Rausch J., Gustafsson M. Concentrations of tire wear microplastics and other traffic-derived non-exhaust particles in the road environment // *Environment International*. 2022. Vol. 170. Iss. 6. P. 107618.
8. Fussell J., Franklin M., Green D. C., Gustafsson M. A Review of Road Traffic-Derived Non-Exhaust Particles: Emissions, Physicochemical Characteristics, Health Risks, and Mitigation Measures // *Environmental Science and Technology*. 2022. Vol. 56. Iss. 152. DOI: 10.1021/acs.est.2c01072
9. Bielaczyc P. A., Szczotka A., Woodburn J. Exhaust emissions of particulate matter from light-duty vehicles — an overview and the current situation // *Combustion Engines*. 2017. Vol. 171. Iss. 4. Pp. 227—238.
10. Manshausen P., Watson-Parris D., Wagner L., Maier P. Pollution tracker: Finding industrial sources of aerosol emission in satellite imagery // *Environmental Data Science*. 2023. P. 8. DOI:10.1017/eds.2023.20.

11. Mishra R., Militky J., Baheti V., Huang J. The production, characterization and applications of nanoparticles in the textile industry // *Textile Progress*. 2014. Vol. 46. Iss. 2. P. 96.
12. Andreae M. O. Emission of trace gases and aerosols from biomass burning — an updated assessment // *Atmospheric Chemistry and Physics*. 2019. Vol. 19. Iss. 13. Pp. 8523—8546.
13. Danuta P.-M., Sławomir R. Methods for reducing low emissions from heating devices in single-family housing // *E3S Web Conf*. 2018. Vol. 45. Iss. 1. DOI:10.1051/e3sconf/20184500069.
14. Butt E. W., Rap A., Schmidt A., Scott C. E. The impact of residential combustion emissions on atmospheric aerosol, human health and climate // *Atmospheric chemistry and physics*. 2016. Vol. 16. Iss. 2. Pp. 873—905.
15. Jia Q., Al-Ansari N., Knutsson S. Measurement of dust emission from a road construction using exposure-profiling method // *Natural Science*. 2013. Vol. 5. Iss. 12. Pp. 1255—1263.
16. Luo Q., Lepeng H., Xue X., Chen Z. Occupational health risk assessment based on dust exposure during earthwork construction // *Journal of Building Engineering*. 2021. Vol. 44. Iss. 3. Pp. 103186.
17. Nazari Sh., Kermani M., Fazlzadehdavilb M., Alizadeh-Matboo S. The origins and sources of dust particles, their effects on environment and health, and control strategies: a review // *Journal of Air Pollution and Health*. 2016. Vol. 1. Iss. 2. Pp. 137—152.
18. Di Antonio A., Popoola O., Ouyang B., Saffell J. Developing a relative humidity correction for low-cost sensors measuring ambient particulate matter // *Sensors (Switzerland)*. 2018. Vol. 18. Iss. 9. DOI:10.3390/s18092790.
19. Alves C., Figueiredo C. A. M., Sanjurjo-Sánchez J., Hernández A. C. Salt Weathering of Natural Stone: A Review of Comparative Laboratory Studies // *Heritage*. 2021. Vol. 4. Iss. 3. Pp. 1554—1565. DOI: 3390/heritage4030086.
20. Çelik M. Y., Aygün A. The effect of salt crystallization on degradation of volcanic building stones by sodium sulfates and sodium chlorides // *Bull. Eng. Geol. Environ.* 2019. Vol. 78. Pp. 3509—3529.
21. Menéndez B., Petrůvová V. Effect of mixed vs single brine composition on salt weathering in porous carbonate building stones for different environmental conditions // *Eng. Geol.* 2016. Vol. 210. Pp. 124—139.
22. An evaluation of particle deposition fluxes to cultural heritage sites in Florence, Italy / F. Monforti, R. Bellasio, R. Bianconi, G. Clai, G. Zanini // *Sci Total Environ*. 2004. Vol. 1. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2004.04.030. PMID: 15504493.
23. Koca A., Uğural M. N., Yaman E. Rising Damp Treatment in Historical Buildings by Electro-Osmosis: A Case Study // *Buildings*. 2024. Vol. 14. Pp. 1460. DOI: 10.3390/buildings14051460.
24. Православнова Е. П. О состоянии окружающей среды Волгоградской области в 2023 году / Комитет природных ресурсов, лесного хозяйства и экологии Волгоградской области. Ижевск : Принт, 2023. 300 с.
25. Salt Damage and Rising Damp Treatment in Building Structures // J. M. P. Q. Delgado, A. S. Guimarães, V. P. de Freitas, I. Antepara, V. Kolí, R. Herný // *Advances in Materials Science and Engineering*. 2016. Article ID 1280894. 13 p. DOI: 10.1155/2016/1280894.
26. Миккульский В. Г., Горчаков Г. И., Козлов В. В. Строительные материалы. Материаловедение и технология. М. : АСВ. 2002. 531 с.
27. Применение модифицированных цементно-песчаных смесей и анализ их эколого-технологических характеристик / В. В. Лупиногин, Т. К. Акчурин, О. В. Душко, В. Г. Поляков, В. И. Карапузов // *Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура*. 2024. Вып. 3(96). С. 43—54.

© Акчурин Т. К., Лупиногин В. В., Душко О. В., Поляков В. Г., 2025

Поступила в редакцию
в декабре 2024 г.

Ссылка для цитирования:

Акчурин Т. К., Лупиногин В. В., Душко О. В., Поляков В. Г. Методы защиты от негативного воздействия окружающей среды объектов культурного наследия // *Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура*. 2025. Вып. 1(98). С. 123—134. DOI: 10.35211/18154360_2025_1_123.

Об авторах:

Акчурин Талгат Кадимович — советник РААСН, канд. техн. наук, проф., проф. каф. строительных материалов и специальных технологий, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; Scopus ID: 57190967539; info@vgasu.ru

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

Душко Олег Викторович — д-р техн. наук, доц., зав. каф. строительной механики, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; ovd28@mail.ru; ORCID: 0000-0002-3982-1899

Поляков Владимир Геннадиевич — д-р экон. наук, проф., зав. каф. городского строительства, экономики и управления проектами, Волгоградский государственный технический университет (ВолгГТУ). Российская Федерация, 400074, г. Волгоград, ул. Академическая, 1; polana58@mail.ru

Talgat K. Akchurin, Vladislav V. Lupinogin, Oleg V. Dushko, Vladimir G. Polyakov

Volgograd State Technical University

**THE IMPACT OF THE IMPACT OF SOLID DUST PARTICLES
ON CULTURAL HERITAGE SITES, GREENING AND IMPROVING
THE PERFORMANCE CHARACTERISTICS OF MATERIALS
THAT MAKE UP THE SURFACE OF SUCH OBJECTS**

The influence of dust particles on the constituent materials (natural stone, concrete and plaster) of cultural heritage sites is considered. The sources of negative impact on the surface of such objects are analyzed, various protective measures to improve the operational characteristics of cultural heritage objects are studied and proposed.

Key words: dust particles, monomers, aerosol, cultural heritage sites, atmospheric air, solid particles, dust adhesion, salts, atmospheric air pollution, mold, mold fungi, bio-damage, hydrophobization, protection methods.

For citation:

Akchurin T. K., Lupinogin V. V., Dushko O. V., Polyakov V. G. [The impact of the impact of solid dust particles on cultural heritage sites, greening and improving the performance characteristics of materials that make up the surface of such objects]. *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. 1, pp. 123—134. DOI: 10.35211/18154360_2025_1_123.

About authors:

Talgat K. Akchurin — Candidate of Engineering Sciences, Professor, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; Scopus ID: 57190967539; info@vgasu.ru

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

Oleg V. Dushko — Doctor of Engineering Sciences, Docent, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; ovd28@mail.ru; ORCID: 0000-0002-3982-1899

Vladimir G. Polyakov — Doctor of Economics, Professor, Volgograd State Technical University (VSTU). 1, Akademicheskaya st., Volgograd, 400074, Russian Federation; polana58@mail.ru