

В.Б. ДОРОХОВ^{1,2,3}, Н.Ю. ПИНТЕЛИН¹, Д.Ю. ЖЕЛДАКОВ²

¹Государственный научно-исследовательский институт реставрации (ГОСНИИР), г. Москва, Россия

²Научно-исследовательский институт строительной физики Российской академии архитектуры и строительных наук (НИИСФ РААСН), г. Москва, Россия

³Московская духовная академия Русской Православной Церкви, г. Сергиев Посад, Россия

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРНО-ВЛАЖНОСТНОГО РЕЖИМА ЗАГЛУБЛЕННЫХ ОБЪЕМОВ НА СОХРАННОСТЬ ПАМЯТНИКОВ АРХИТЕКТУРЫ С МОНУМЕНТАЛЬНОЙ ЖИВОПИСЬЮ НА ПРИМЕРЕ СПАСО-ПРЕОБРАЖЕНСКОГО ХРАМА ГОРОДА ПОЛОЦКА

Аннотация. Тепловлажностный режим заглубленных частей может оказывать существенное, а иногда решающее значение, для нормализации микроклимата всего памятника. Опыт теплофизических исследований в церковных памятниках архитектуры свидетельствует о широком круге факторов определяющих воздействие температурно-влажностного режима заглубленных объемов на формирование условий сохранности памятника в целом. В настоящее время лаборатория климата музеев и памятников архитектуры ГОСНИИР проводит исследования по данной проблеме с целью создания методики изучения и нормализации тепловлажностного режима надземной и подземной части здания как единого целого. Такой подход необходим для выработки проектных и технологических решений по оптимизации условий сохранности памятника. В статье рассматривается практический пример обеспечения тепловлажностных условий сохранности памятника с монументальной живописью.

Ключевые слова: температурно-влажностный режим, условия сохранности настенной живописи, микроклимат, памятники архитектуры, химическая деструкция материала.

V.B. DOROKHOV^{1,2,3}, N.YU. PINTELIN¹, D.YU. ZHELDAKOV²

¹State Research Institute of Restoration (GOSNIIR), Moscow, Russia

²Research Institute of Building Physics of the Russian Academy of Architecture and Construction Sciences (NIISF RAASN), Moscow, Russia

³Moscow Theological Academy of the Russian Orthodox Church, Sergiev Posad, Russia

INFLUENCE OF THE TEMPERATURE AND HUMIDITY REGIME OF BURIED VOLUMES ON THE PRESERVATION OF ARCHITECTURAL MONUMENTS WITH MONUMENTAL PAINTINGS ON THE EXAMPLE OF THE TRANSFIGURATION CHURCH IN POLOTSK

Abstract. The heat and humidity regime of the buried parts can be essential, and sometimes crucial, for the normalization of the microclimate of the entire monument. The experience of thermophysical studies in church architectural monuments shows a wide range of factors that determine the impact of the temperature and humidity regime of the buried volumes on the formation of conditions for the preservation of the monument as a whole. Currently, the Climate Laboratory of Museums and Architectural Monuments of GOSNIIR conducts research on this problem in order to create a methodology for studying and normalizing the heat and humidity regime of the aboveground and underground parts of the building as a whole to develop design and technological approaches to optimizing the conditions for the preservation of the monument. The article considers a practical example of providing heat and humidity conditions for the preservation of a monument with monumental painting.

Keywords: temperature and humidity conditions, wall paintings preservation conditions, microclimate, architectural monument, chemical destruction of the material.

Введение

В практике работы ГОСНИИР и других реставрационных организаций весьма распространены памятники архитектуры, имеющие в своем составе заглубленные конструкции, большинство из которых входят в предмет охраны и требуют бережного сохранения наряду с основными объемами памятника. Так же разнообразно влияние заглубленных конструкций на основные объемы памятников, что определяется как состоянием ограждающих конструкций, так и техническими решениями, примененными при их создании. Влияние температурно-влажностных параметров на сохранность монументальной живописи определяется многими причинами и давно служит предметом изучения [1 - 3]. Рассмотрим пример из практики лаборатории климата музеев и памятников архитектуры ГОСНИИР, весьма наглядно показывающих влияние климатических условий в заглубленных конструкциях на условия сохранности в основном объеме.

Метод

Наиболее показательная ситуация складывается на объекте с заглубленными конструкциями - Спасо-Преображенской церкви Спасо-Евфросиньевского монастыря (г. Полоцк, Республика Беларусь). Храм, построенный в XII веке, является уникальным памятником с фресковой живописью того периода, сохранившейся на 90%. За время своего бытования он несколько раз подвергался перестройкам. Наиболее масштабные вмешательства произошли в XVI - XVIII в.в. при владевшем в это время храмом Орденом Иезуитов. Основным вмешательством было создание крипты, что сопровождалось значительными вмешательствами как в конструкции храма, так и в грунты, на которых он стоит. Такие вмешательства не прошли бесследно, конструкции храма, и в том числе крипты, требуют укрепления для обеспечения его сохранности, а также мероприятий для создания тепловлажностных условий сохранности [4], [5]. В 2012 году был начат масштабный этап реставрации, включающий активные работы по изучению, реставрации и укреплению фундаментов.

В октябре 2017 года хранители храма обнаружили неблагоприятные процессы, отрицательно влияющие на сохранность живописи - появились интенсивные биопоражения (плесень) и соли в количестве, которого ранее не было.

Специалисты, участвующие в процессе реставрации, сошлись во мнении, что наибольшее влияние на распространение и усиление биопоражений и выхода солей оказала дополнительная влага, поступающая в основной объем памятника после проведения «мокрых» строительных работ в объеме крипты. Эти работы - вычинка фундаментов и устройство распорных диафрагм для обеспечения устойчивости столбов храма. В долгосрочном плане эти работы безусловно необходимы – убраны обширные участки конструктивных вставок с использованием цементного связующего, проведена вычинка разрушающихся частей кладки стен. В краткосрочном плане есть и отрицательные моменты – это внесение строительной влаги при воссоздании кладки в осенний период и незавершённость консервации раскопа под южной стеной в преддверии наступающих холодов. Эти влажностные аномалии способствовали диффузии влаги через конструкции крипты и испарению влаги в объем храма, что и привело к нарушениям влажностного режима воздушной среды и настенной живописи.

При участии специалистов по строительной теплофизике был разработан и реализован комплекс мер по изучению и стабилизации влажностного режима:

- Произведены замеры параметров ТВР ограждающих конструкций по введенной ранее системе контрольных точек. Так же в связи с временным демонтажем части деревянного пола были произведены обзорные замеры влажности конструкций каменного пола на различных участках, в первую очередь выходящие в объем четверика поверхности сводов крипты. Результаты обзорных замеров указали на крайне переувлажненное состояние материалов сводов, под которыми располагаются тупиковые участки крипты, либо грунт, подтвердив гипотезу о влиянии влаги в конструкциях крипты на воздушную среду

памятника. Таким образом, осуществлялся механизм просушки конструкций крипты через воздушный объем памятника с уникальной сохраняемой живописью.

- Внедрена при консервации археологического раскопа профилированная гидроизоляционная мембрана "Технониколь-Planter" для организации гидроизоляции верхних участков цоколя южной стены храма. Что позволило организовать не только гидроизоляцию верхней части цоколя, но и осуществить вертикальную микровентиляцию защищаемых конструкций за счет образования на их поверхности сети мелких продухов.

- В первой декаде ноября 2017 года в восточной части крипты, под наиболее подверженными воздействию влаги участками стен с живописью, специалистами лаборатории была внедрена система искусственной климатизации, позволившая высушивать конструкции крипты, ликвидировав попадание влаги из крипты в объем храма.

Система искусственной климатизации

В центральной камере восточной (крестообразной) части крипты были установлены, подключены и настроены приборы для искусственной климатизации крипты (рисунок 1):

- ☐ Масляный радиатор мощностью 2,5КВт,

- ☐ Осушитель воздуха

- ☐ Дренажная система из насоса Sauerman SI 2750 и капиллярного шланга, завершающая часть которого утеплена и снабжена электрообогревом для обеспечения работы при отрицательных температурах наружного воздуха.

Это позволяет с минимальным проникновением в крипту обеспечивать работу системы климатизации в холодный период.

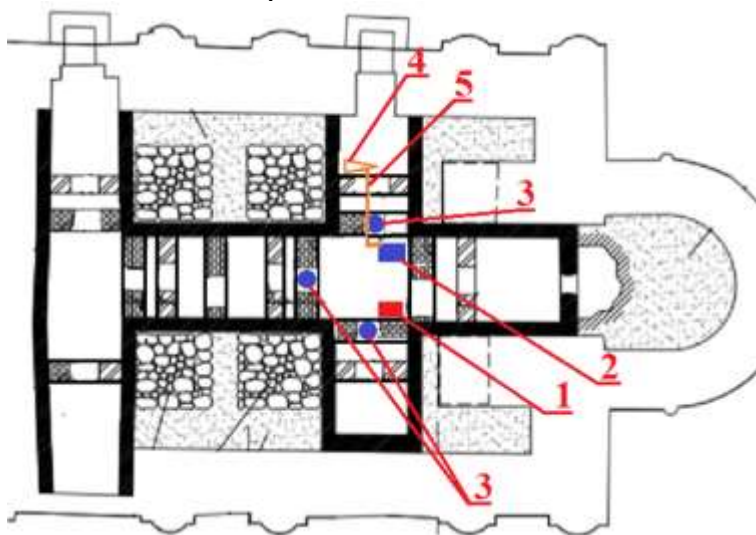


Рисунок 1 – План крипты с расстановкой оборудования: 1 - Обогреватель; 2 - Осушитель с дренажным насосом; 3 - Вентилятор подачи осушенного воздуха; 4 - Закрытая емкость для воды; 5 - Капиллярный шланг для отвода воды от осушителя

Для климатизации крипты был выбран подход с использованием методики ограниченного обогрева, для чего термостат масляного радиатора настроен на поддержание температуры воздуха в диапазоне 7-10°C. Во время работ по установке оборудования осуществлялось наблюдение за параметрами ТВР воздушной среды в крипте: относительная влажность находилась в диапазоне 85 - 92%, температура от 10 до 12 °С. Для обеспечения плавности изменения влажностного режима, гидростат осушителя настроен на поддержание относительной влажности 65%. После запуска оборудования, через весьма непродолжительное время, относительная влажность в центральной камере снизилась до уровня 70%. Данный факт свидетельствовал о серьезном затруднении воздухообмена в помещениях крипты и указывал на необходимость дальнейшего совершенствования системы климатизации. За первые сутки работы системы климатизации сбор влаги из воздушной

среды климатизированной части крипты (объем чуть более 30м³) составил около 5,5л. Позднее, по результатам эксплуатации в течении трех месяцев, система климатизации была модернизирована: в проемах диафрагм, ограничивающих центральную камеру, установлены три канальных вентилятора, управляемых с помощью механического таймера. Данное решение улучшило воздухообмен между камерами крипты, что отразилось на результатах работы системы климатизации: суточный сбор влаги увеличился на 20% по сравнению с установившимся на момент модернизации уровнем.

Внедрение описанной выше системы климатизации позволило в короткие сроки уменьшить влагосодержание воздуха в объеме памятника, стабилизировать влажностный режим проблемных участков ограждающих конструкций, ограничить выход солей и распространение биопоражений на поверхностях с живописью. Система климатизации крипты используется уже свыше трех лет и при её помощи удается проходить периоды реставрационных работ с использованием «мокрых» процессов в крипте и на фундаментах без негативных последствий для сохранности фресковой живописи. Поддержание микроклимата в основном объеме храма происходит в соответствии с концепцией ограниченного подогрева, обоснованного в работах специалистов ГОСНИИР и других организаций работах [2], [4]. В настоящий момент проектные решения по климатизации крипты и основного объема Спасо-Преображенского храма разработаны с использованием опыта работы в подобных памятниках [6], [7]. При этом учтён опыт создания и эксплуатации, описанной выше системы климатизации крипты. Проект с использованием данных разработок получил положительное заключение государственной экспертизы Республики Беларусь. Цель такой системы в крипте - в первую очередь улучшение температурно-влажностного режима памятника и его живописи за счет управления влажностью воздуха и конструкций в крипте.

Результаты и обсуждение

В данной исследовательской работе, сопровождающей процесс реставрации древнего памятника был использован метод управления влажностным режимом подземного сооружения с целью нормализации влажностного режима монументальной живописи в основном верхнем объеме памятника. Получены практические результаты по нормализации условий сохранности живописи, выражающиеся в улучшении влажностного режима самих конструкций и воздушной среды внутри памятника.

В качестве научной гипотезы, объясняющей значительное увеличение образования солей в подземной части и нижней части надземной части памятника при повышенном увлажнении материала кирпича, могут быть рассмотрены процессы химической коррозии материала. Теория химической деструкции кирпича и кирпичной кладки описывается многостадийным процессом [8], [9]. На первой стадии процесса в материале кирпича происходит образование щелочей из оксидов щелочных и щелочноземельных металлов. Щелочь может также поступать в кирпич из цементно-песчаного раствора, в основном это гидроксид кальция, образующийся в цементно-песчаном растворе при протекании процесса выщелачивания. Цементно-песчаный раствор был внесён в конструкции кладки при её многочисленных вычинках с конца 19 века и в течение 20 века. На настоящем этапе реставрации этот раствор практически полностью изымается из конструкций памятника для предотвращения его дальнейшего разрушения. На второй стадии процесса происходит взаимодействие образовавшихся в материале кирпича или/и поступивших в него из цементно-песчаного раствора, щелочей с оксидами кремния и алюминия в первую очередь аморфной фазы. При этом происходит полное разрушение материала кирпича до размеров частиц порядка 10^{-5} – 10^{-6} м, так как аморфная составляющая является связующей фазой материала. Важной стадией в процессе деструкции является нехимическая стадия - стадия увлажнения.

Для исследования кинетики процесса химической деструкции были разработаны две методики, подробно описанные в [10]: методика исследования скорости реакций образования щелочей в материале кирпича (определение коррозионной активности влаги) и действия щелочей на материал кирпича (определение химической стойкости).

Методика определения коррозионной активности влаги позволяет получить численные значения скорости образования щелочей при взаимодействии оксидов щелочных и щелочноземельных металлов, присутствующих в материале кирпича, при его увлажнении. Методика основана на процессе взаимодействия щелочных и щелочноземельных металлов, присутствующих в аморфной фазе материала кирпича, с водой. Данным методом изучается кинетика первого этапа процесса деструкции материала кирпича.

Результаты, уже полученные при проведении исследований по методике определения коррозионной активности влаги, показаны на рисунке 2. Для изучения были взяты пробы плинфы с Церкви Николы Мокрого с колокольной, 1677 г. в г. Ярославль, Россия, имеющей прочность на сжатие 76 МПа, кирпича с внутренней несущей стены жилого особняка С.М. Варенцова - Г.Л. Штеккера, 1835 г. в г. Москва, Россия, с прочностью на сжатие 19,7 МПа и красного глиняного рядового кирпича российского производства 2013 г. (прочность на сжатие 18,1 МПа).

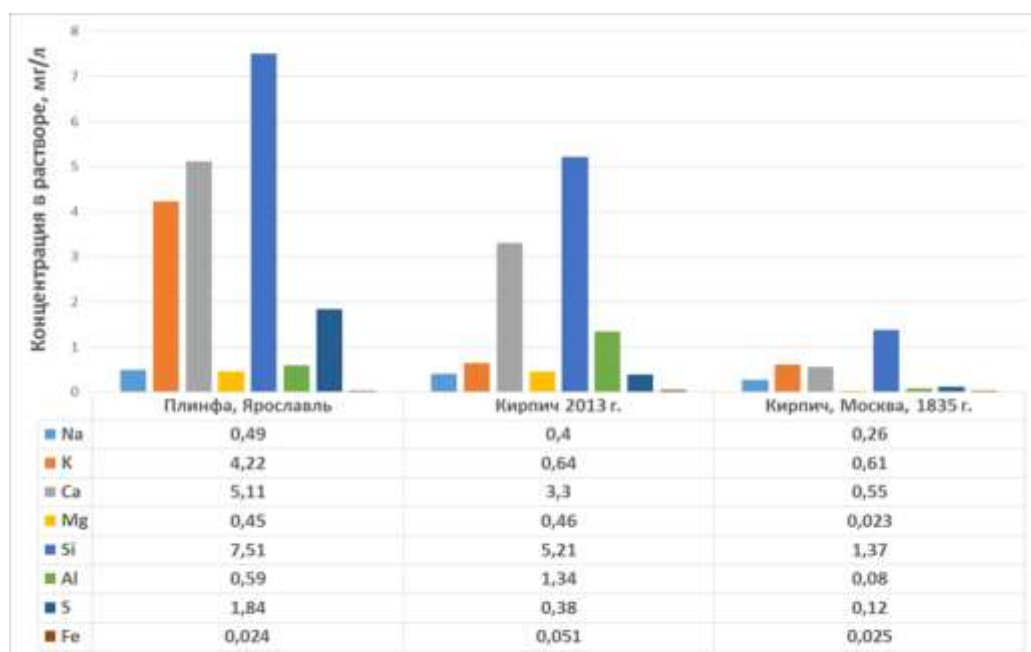
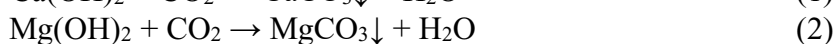
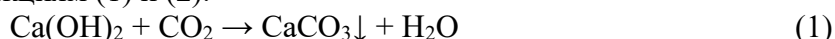


Рисунок 2 – Содержание элементов в водной вытяжке проб кирпича

Важно отметить значительное количество элементов щелочных и щелочноземельных металлов, свидетельствующих об образовании щелочей. Водородный показатель раствора (pH) равный в представленных исследованиях 7,9 для кирпича 1835 года и 8,5 для плинфы подтверждает щелочность влаги при ее контакте с материалом кирпича.

Щелочи, поступающие к внутренней поверхности кирпичной стены, контактируют с атмосферным воздухом помещения, содержащим в среднем 0,03% об углекислого газа. Углекислый газ при контакте с гидроксидами щелочноземельных металлов образует нерастворимые карбонаты по реакциям (1) и (2).



Карбонаты кальция и магния и являются основным компонентом солевых образований на поверхности кладки и штукатурного слоя.

Выводы

Крипта памятника является поздним дополнением к конструкциям, отрицательно влияющим на сохранность памятника и его живописи. В результате инженерных мероприятий по обогреву и осушению воздуха в крипте значительно улучшились условия бытования живописи - уменьшились высолы и микробиологические поражения штукатурного слоя, на котором находится живопись. Это улучшение подтверждено контролем влагосодержания конструкций и температурно-влажностного режима воздушной среды вблизи живописи.

Для анализа механизмов образования высолов использована теория химической деструкции кирпича и кирпичной кладки под влиянием увлажнения материалов. Если с поверхности кладки такие образования удаляются достаточно легко, то с поверхности настенной живописи их удаление приводит к частичной утрате живописи. Такое вмешательство крайне нежелательно, учитывая художественную и историческую ценность живописи данного памятника, дошедшей до нас с XII века. Таким образом показано влияние нормализации влажностного режима кладки на сохранность древней живописи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Табунщиков Ю.А., Бродач М.М. Оптимальные параметры внутреннего воздуха исторических зданий: методика определения // АВОК. 2018. №3. С. 12-19.
2. Дорохов В.Б., Пинтелин Н.Ю. Управление температурно-влажностным состоянием церковных зданий - памятников архитектуры, как метод обеспечения сохранности // International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern technologies IOPConf. Series: Materials Science and Engineering 463 (2018) 032076 IOP Publishing doi:10.1088/1757-899X/463/3/032076 <http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/463/3/032076/pdf>
3. Пинтелин Н.Ю., Дорохов В.Б., Шилкин Н.В. Оптимизация условий сохранности монументальной живописи церковного памятника архитектуры // АВОК. 2018. №8. С. 40-45.
4. Сизов Б.Т. Теплофизические аспекты сохранения памятников архитектуры // АВОК. 2002. №1. С. 24-31.
5. Умняков П.Н., Умнякова Н.П., Алдошина Н.Е. Обеспечение теплового режима для сохранности древних шедевров русской иконописи Троицкого собора Свято-Троицкой Сергиевой лавры // Жилищное строительство (строительные конструкции). 2017. №8. С. 25-29.
6. Бродач М. М., Шилкин Н.В. Инженерное обследование памятников архитектуры // АВОК. 2018. №2. С. 40-45.
7. Michel Grabon, Jackie Anderson, Peter Bushnell et al. Сикстинская капелла. Модернизация системы ОВК для сохранения объекта культурного наследия // АВОК. 2018. №1. С. 40-47.
8. Zheldakov D.Yu. The Brick Material Durability in Brickwork // AlfaBuild. 2020. Volume 15. Article No 1504, doi: 10.34910/ALF. 15.4
9. Желдаков Д.Ю. Химическая коррозия кирпичной кладки. Протекание процесса // Строительные материалы. 2019. № 4. С. 36-43.
10. Желдаков Д.Ю. Методы исследования кинетики процесса химической коррозии материалов кирпичной кладки // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2019. № 11 (731). С. 74-86.

REFERENCES

1. Tabunschikov Yu.A., Brodach M.M. Optimalniye parametry vnutrennego vozduha istoricheskikh zdaniy: metodika opredeleniya [Optimal inside air parameters of historical buildings: determination methods] // AVOK. 2018. No 3. PP. 12-19 (in Russian).
2. Dorokhov V.B., Pintelin N.Yu. Upravleniye temperaturno-vlazhnostnym sostoyaniyem tserkovnykh zdaniy-pamyatnikov arhitektury, kak metod obespecheniya sohrannosti [Control of Temperature and Humidity Conditions of Church Buildings-Architectural Monuments as a Method of Preservation] // International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern technologies IOPConf. Series: Materials Science and Engineering 463 (2018) 032076 IOP Publishing doi:10.1088/1757-899X/463/3/032076 <http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/463/3/032076/pdf> (in Russian)
3. Pintelin N.Yu., Dorokhov V.B., Shilkin N.V. Optimizatsiya usloviy sohrannosti monumentalnoy zhivopisi tserkovnogo pamyatnika arhitektury [Optimization of preservation conditions of monumental paintings in a church architecture monument] // AVOK. 2018. No. 8. PP.40-45 (in Russian)

4. Sizov B.T. Teplophisicheckiy aspekt sohraneniya pamyatnikov arhitektury [Thermophysical aspects of preservation of architectural monuments] // AVOK. 2002. No. 1. Pp. 24-31 (in Russian)
5. Umnyakov P.N., Umnyakova N.P., Aldoshina N.E. *Provision of Thermal Conditions for Preserving Ancient Masterpieces of Russian Icon Painting of the Trinity Cathedral of the Holy Trinity-St. Sergius Lavra*, Zhilishchnoe Stroitel'stvo [Residential Construction], 2017. No. 8. Pp. 25-29 (in Russian)
6. Brodach M.M., Shilkin N.V. Inzhenernoye obsledovaniye pamyatnikov arhitektury [Engineering Survey of Architectural Monuments] // AVOK. 2018. No. 2. Pp. 40-45 (in Russian)
7. Michel Grabon, Jackie Anderson, Peter Bushnell et al. Sikstinskaya kapella. Modernizatsiya sistemy OVK dlya sohraneniya obyektov kulturnogo naslediya [The Sistine Chapel. New HVAC System for Cultural Preservation] // AVOK. 2018. No. 1. Pp. 40-47 (in Russian)
8. Zheldakov D.Yu. The Brick Material Durability in Brickwork // AlfaBuild. 2020. Volume 15. Article No 1504, doi: 10.34910/ALF. 15.4
9. Zheldakov D.Yu. Khimicheskaya korroziya kirpichnoy kladki. Protekanie processa [Chemical corrosion of brick masonry. Processing running] // Stroitel'nye Materialy. 2019. No. 4, Pp. 36-43. (In Russian) DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2019-769-4-36-43>.
10. Zheldakov D.Yu. Metody issledovaniya kinetiki processa khimicheskoy korrozii materialov kirpichnoy kladki. [Methods of investigation of kinetics of chemical corrosion process of materials of masonry] // Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Stroitel'stvo. 2019. No. 11 (731). Pp. 78-86. DOI: 10.32683/0536-1052-2019-731-11-74-86 (In Russian).

Информация об авторах:

Дорохов Виктор Борисович

ФГБНИУ Государственный научно-исследовательский институт реставрации (ГОСНИИР), г. Москва, Россия, заведующий лабораторией климата музеев и памятников архитектуры;
ФГБУ Научно-исследовательский институт строительной физики Российской академии архитектуры и строительных наук (НИИСФ РААСН), г. Москва, Россия, старший инженер;
Московская духовная академия Русской Православной Церкви, г. Сергиев Посад, Россия, старший преподаватель.
E-mail: dor.vic@mail.ru

Пинтелин Николай Юрьевич

ФГБНИУ Государственный научно-исследовательский институт реставрации (ГОСНИИР), г. Москва, Россия, младший научный сотрудник лаборатории климата музеев и памятников архитектуры.
E-mail: npintelin@yandex.ru

Желдаков Дмитрий Юрьевич

ФГБУ Научно-исследовательский институт строительной физики Российской академии архитектуры и строительных наук (НИИСФ РААСН), г. Москва, Россия, кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник.
E-mail: djeld@mail.ru

Information about authors:

Dorokhov Victor B.

State Research Institute for Restoration, Ministry of Culture of the Russian Federation (GOSNIIR), Moscow, Russia, chief of laboratory of Museums and Architectural Monuments Climate;
Research Institute of Building Physics of the Russian Academy of Architecture and Construction Sciences (NIISF RAASN), Moscow, Russia, senior engineer;
Moscow Theological Academy of the Russian Orthodox Church, Sergiev Posad, Russia, senior lecturer.
E-mail: dor.vic@mail.ru

Pintelin Nikolay Yu.

State Research Institute for Restoration, Ministry of Culture of the Russian Federation (GOSNIIR), Moscow, Russia, junior researcher of laboratory of Museums and Architectural Monuments Climate.
E-mail: npintelin@yandex.ru

Zheldakov Dmitry Yu.

Research Institute of Building Physics of the Russian Academy of Architecture and Construction Sciences (NIISF RAASN), Moscow, Russia, candidate of technical science, senior researcher.
E-mail: djeld@mail.ru