

УДК 579.6; 699.874

<https://doi.org/10.24852/2587-6112.2023.4.49.57>

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПОЛИСИЛОКСАНОВЫХ ПОКРЫТИЙ ДЛЯ БОРЬБЫ С БИОПОВРЕЖДЕНИЯМИ ПАМЯТНИКОВ ДЕРЕВЯННОГО ЗОДЧЕСТВА¹

© 2023 г. Г.Ю. Яковлева, Е.А. Миронская, У. Курди,
М.П. Данилаев, О.Н. Ильинская

Настоящее исследование отражает результаты поиска способов предотвращения биодеструктивных процессов, протекающих в естественной среде локализации памятников деревянного зодчества. На острове Свяжск с XVI века сохранился уникальный памятник деревянного зодчества Поволжья – Троицкая церковь, единственная, хотя и перестраивавшаяся в течение столетий постройка, сохранившаяся от деревянного средневекового острова-града. Климатические изменения, культурный туризм и деятельность живых организмов вносят существенный вклад в изменение исходного состояния дерева. Наибольший вклад в процессы биоповреждений вносят плесневые грибы – микромицеты. Экспериментальная работа, проведенная на фрагментарном образце конструктивного элемента Троицкой церкви, выявила, что покрытие поверхности образца синтетическим лаком на основе смеси линейных и циклических метилметоксиполисилоксанов препятствует росту микроскопических грибов, содержащихся на поверхности, среди которых доминирует *Aspergillus niger*. Площадь обрастания образца снижается примерно в 6 раз по сравнению с необработанным лаком вариантом. При искусственном заражении образцов спорами *Aspergillus niger*, *Penicillus chrysogenum*, *Fusarium graminearum* и *Aspergillus puulaauensis* площадь обрастания покрытых лаком образцов также снижается в 7 раз, а количество конидиеносцев, отражающих рост микромицетов, – в 4 раза. Полученные результаты позволяют рекомендовать использование полисилоксановых покрытий для сохранения особо важных фрагментов деревянных артефактов.

Ключевые слова: археология, деревянное зодчество, Троицкая церковь, Свяжск, биоповреждение, микромицеты, полисилоксаны, лаковое покрытие.

USE OF POLYSILOXANE COATINGS TO FIGHT AGAINST BIODAMAGES OF WOODEN ARCHITECTURE MONUMENTS²

G.Yu. Yakovleva, E.A. Mironskaya, W. Kurdi,
M.P. Danilaev, O.N. Ilinskaya

This study presents the results of a search for ways to prevent biodestructive processes, occurring in the natural environment of wooden architecture monuments localization. On the Sviyazhsk island since the 16th century an unique site of wooden architecture of the Volga region has been preserved. It is the Trinity Church, the only building, although rebuilt over the centuries, that has survived from the wooden medieval island-town. Climate changes, cultural tourism and living organisms activities make a significant contribution to the change in the initial state of the tree. The greatest contribution to the processes of biodamage is made by mold fungi – micromycetes. Experimental work carried out on a fragmentary sample of a structural element of the Trinity Church revealed that coating the surface of the sample with a synthetic varnish based on a mixture of linear and cyclic methylmethoxypolysiloxanes prevents the growth of microscopic fungi on the surface, among which *Aspergillus niger* dominates. The growth area of the sample is reduced by about 6 times compared to the untreated variant. By artificial infection of samples with spores of *Aspergillus niger*, *Penicillus chrysogenum*, *Fusarium graminearum* and *Aspergillus puulaauensis*, the growth area of varnished samples also decreases by 7 times, and the number of conidiophores, reflecting the growth of micromycetes, by 4 times. The obtained results make it possible to recommend the use of polysiloxane coatings for the protection of especially important fragments of wooden artifacts.

¹ Работа выполнена в рамках Программы «Приоритет 2030» и поддержана грантом РФФ №23-29-00160

² This research was carried out within the framework of the "Priority 2030" Program and supported by Russian Science Foundation's grant No. 23-29-00160

Keywords: archaeology, wooden architecture, Trinity Church, Sviyazhsk, biodamage, micromycetes, polysiloxanes, varnish.

Деревянное зодчество как самобытная часть архитектурного наследия человечества представлено широким спектром деревянных построек, многообразных по своим функциям и назначению. Троицкая церковь XVI века в Свияжске, построенная из сосновых бревен, является единственным памятником деревянного зодчества Поволжья. В течение длительного времени церковь подвергается влиянию не только климатических, но и биологических факторов, действие которых проявляется в изменении структуры и качества дерева. Данные изменения вкупе с антропогенным воздействием в процессе культурного туризма, в свою очередь, могут привести к частичному или даже полному разрушению строения. Обеспечение сохранности памятников деревянного зодчества представляет собой комплексную проблему, значительная часть которой связана с повреждениями, вызываемыми микроорганизмами.

Биоповреждения можно классифицировать и условно разделить на три категории в зависимости от влияния биоагентов, природы используемого материала и условий окружающей среды: биофизические, биохимические и эстетические (Allsopp *et al.*, 2004, P. 1597). К числу важнейших биодеструкторов, вызывающих негативные эффекты, относят микроорганизмы – бактерии, плесневые грибы (микросциеты) и водоросли, а также мхи, лишайники и др. Среди прочих микроорганизмов именно микросциеты вносят наибольший вклад в процессы биоповреждений. Большая часть грибов-деструкторов имеет высокую энергию размножения: спороносные грибы образуют сотни тысяч спор. Из-за микроскопических размеров и массы споры легко разносятся ветром и забиваются в незаметные глазу трещины, которые есть даже в очень плотных материалах. Грибы способны адсорбироваться даже на гладких поверхностях, и, после того как споры закрепляются, они прорастают и образуют мицелий. Способность образовывать мицелий связана в первую очередь с осмогетеротрофным типом питания грибов, т. е. питания готовыми органическими веществами (гетеротрофия), поглощаемыми всей поверхностью тела (осмотротрофия). Именно мицелиальное строение во многом

объясняет способность адаптации грибов к любым неблагоприятным внешним факторам, ведь благодаря такому типу строения грибы быстро разрастаются и покрывают большие площади (Еремеева, 2009). Несмотря на то что всем грибам присущ осмогетеротрофный способ питания, источники потребляемого ими органического вещества столь различны, что освоение каждого из них требует от грибов развития самостоятельной экологической стратегии. Эти стратегии, называемые трофическими, накладывают заметный отпечаток на внешний облик, организацию тела и способы размножения грибов, обеспечивая им совершенно различную роль в живой природе. Грибы, влияющие на биоповреждения, относятся к сапрофитам. Наиболее часто при изучении биоповреждений рассматриваются грибы-полифаги, относящиеся к неспецифическим сапрофитам: *Fusarium*, *Aspergillus*, *Penicillium*, *Alternaria*, *Trichoderma*. Именно они наиболее часто обнаруживаются на строительных материалах и конструкциях (Пехташева с соавт., 2012). Наиболее агрессивными биодеструкторами строительных материалов являются микросциеты родов *Aspergillus*, *Penicillium* и *Trichoderma*, на долю которых приходится более 40% всех биоповреждений в строительной отрасли (Карамова с соавт., 2014, с. 11–13). При этом микросциеты вызывают биоповреждения материалов не только напрямую, но и косвенно, синтезируя ферменты и органические кислоты, высокий уровень которых приводит к образованию и углублению микротрещин (Ilinskaya *et al.*, 2018; Yakovleva *et al.*, 2018; Доцник, Ефремова, 2019).

Заселяя поверхности строительных материалов, они обуславливают не только их разрушение, нарушают экологический баланс городов, но и подвергают опасности здоровье людей (Антонов, 2002; Карамова и др., 2014, с. 13, 14; Ilinskaya *et al.*, 2018). Термин «синдром больных зданий» используется для описания ситуации, когда жители здания испытывают острые проблемы со здоровьем, связанные непосредственно со временем, проведенным в здании. Опасность появления данного синдрома заключается в пагубном влиянии на здоровье, т. к. споры плесневых

грибов, переносимые в воздухе, способны вызывать аллергические реакции, внешне проявляющиеся как приступы астмы. Именно из соображений здравоохранения становится актуальной проблема экологии зданий. Один из наиболее распространенных плесневых грибов – *Aspergillus niger*, чьи споры, попав в организм человека, вызывают такие заболевания, как аллергический бронхолегочный аспергиллез, проявляющийся в деструкции полостей легких, в тяжелых случаях – в диссеминированной инфекции (Покровская и др., 2012).

Широкое распространение для защиты различных материалов от биоповреждений получили защитные покрытия (лаки) на основе полисилоксана. Ими покрывают органические стекла (поликарбонат и полиметилметакрилат), используемые для остекления транспортных средств, зданий и сооружений. Покрытие их полисилоксановым лаком сохраняет стойкость их к истиранию и прозрачность, а также повышает их устойчивость к агрессивным воздействиям микроскопических грибов. Однако и сами полисилоксановые покрытия могут подвергаться негативному воздействию. Для предотвращения этих воздействий в их состав вводят различные добавки (Danilaev et al., 2022).

В настоящей работе проведена экспериментальная оценка возможности использования различных полисилоксановых покрытий для защиты памятников деревянного зодчества от биоповреждений. В связи с этим определено влияние полисилоксанового покрытия на устойчивость образцов старого дерева – фрагмента конструктивного элемента Троицкой церкви, любезно предоставленного к.б.н., доцентом кафедры общей экологии Института экологии и природопользования КФУ Д.В. Тишиным, к воздействию микроскопических грибов в условиях, имитирующем минеральное и органическое загрязнение. Ранее этот фрагмент был использован как один из образцов для датировки древесины исторических объектов острова-града Свяжска. Предоставленный фрагмент был предварительно распилен на несколько частей, средний размер которых составлял $(5,2 \pm 0,2) \times (2,2 \pm 0,1) \times (1,1 \pm 0,4)$ см. В качестве покрытия использовали созданный в КНИТУ-КАИ лак на основе смеси линейных и циклических метилметок-

сиполисилоксанов, содержащих 10% винильных групп.

Определение устойчивости образцов древесины, необработанных и обработанных лаками, проводили с использованием метода согласно ГОСТ 9.048-89. Сущность исследования заключалась в выдерживании образцов в условиях, оптимальных для прорастания спор, с последующей оценкой грибостойкости по степени развития грибного мицелия. Исследование проводили в двух вариантах: 1) образцы опрыскивали стерильной средой Чапека-Докса без спор микромицетов; 2) образцы обрабатывали спорами микроскопических грибов. Споры грибов *Aspergillus niger*, *Penicillium chrysogenum*, *Fusarium graminearum* и *Aspergillus puulaauensis* смывали средой Чапека-Докса (рис. 1: А), с использованием камеры Горяева определяли их количество в 1 мл и смешивали в пропорции 1:1:1:1 (рис. 1: В). Поверхность образцов заражали суспензией спор грибов (концентрация спор 3.6×10^6 шт./мл), помещенных в предварительно простерилизованный опрыскиватель, путем равномерного опрыскивания всех сторон (рис. 1: С). Образцы помещали во влажную стерильную камеру (рис. 1: D). Испытание проводили при температуре 30 °С и относительной влажности воздуха более 90%. Продолжительность испытаний составляла 21 сутки с промежуточным осмотром через 7 суток. Для контроля жизнеспособности суспензию спор чистых культур микроскопических грибов, используемых для заражения образцов, разбрызгивали по поверхности агаризованной среды Чапека-Докса в чашках Петри (рис. 1 Е). Если на питательной среде развитие грибов не наблюдалось в течение 5 суток, споры считались нежизнеспособными.

При проведении осмотра образцы извлекали из камеры, осматривали невооруженным глазом в рассеянном свете и под микроскопом при увеличении $\times 160$. Количество конидиеносцев (специализированных органов спороношения микромицетов) грибов, выросших на поверхности образцов, а также площадь поражения образцов микромицетами рассчитывали по фотографиям с использованием программы ImageJ, версия 1.53. Количество конидиеносцев пересчитывали на 1 см² образца. Площадь поражения выражали в процентах от общей площади поверхности образца.

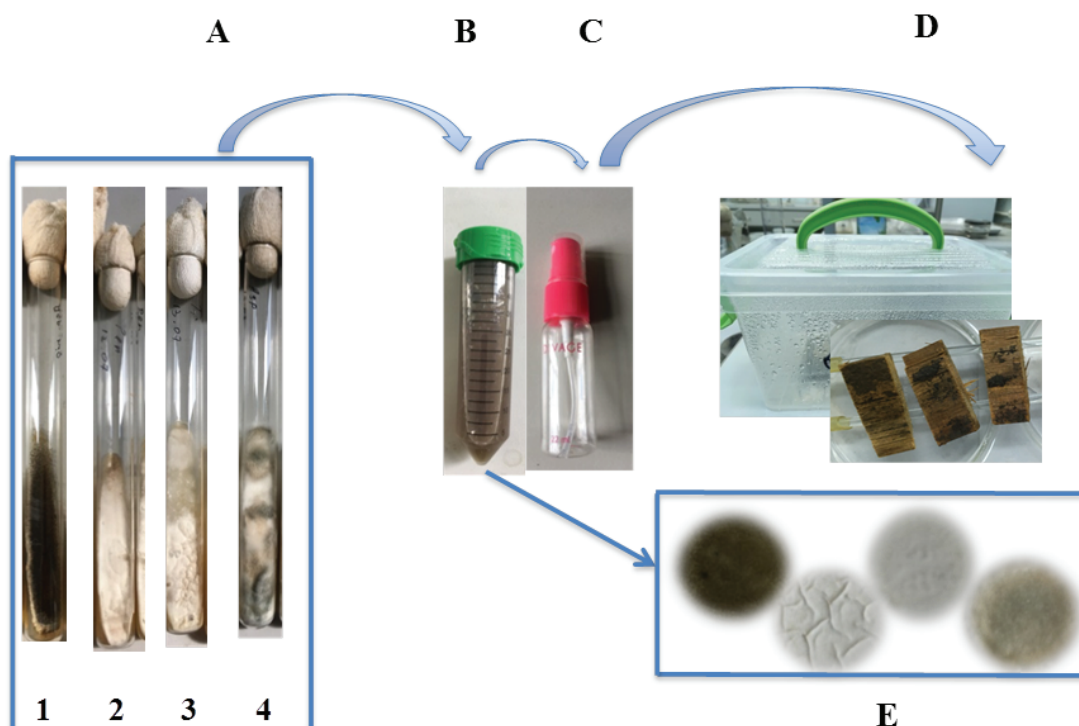


Рис. 1. Схема проведения испытаний на устойчивость образцов к воздействию микромицетов: А – рост микромицетов на среде Чапека-Докса; В – суспензия спор; С – опрыскиватель; Д – контейнер с образцами; Е – чашки Петри со средой Чапека-Докса для проверки жизнеспособности спор; микромицеты: 1 – *Aspergillus niger*; 2 – *Penicillium chrysogenum*; 3 – *Fusarium graminearum* и 4 – *Aspergillus puulaauensis*.

Fig. 1. Scheme of samples resistance testing to damaging effects of micromycetes: А – growth of micromycetes on Czapek-Dox medium; В – suspension of spores; В – sprayer; Г – container with samples; Д – Petri dishes with Czapek-Dox medium to test the viability of spores; micromycetes: 1 – *Aspergillus niger*; 2 – *Penicillium chrysogenum*; 3 – *Fusarium graminearum* and 4 – *Aspergillus puulaauensis*.

Уже на 7 сутки инкубирования на поверхности образцов, опрыснутых стерильной средой Чапека-Докса, отмечали рост микромицетов (рис. 2), по строению конидиеносцев отнесенных к виду *Aspergillus niger*. На 21 сутки культивирования на поверхности фрагмента, не обработанного лаком, зафиксировали рост еще одного микромицета, также принадлежащего к роду *Aspergillus* (рис. 3). Однако обработка лаком препятствовала его росту, и способность к росту на покрытом лаком фрагменте дерева сохранил только один доминирующий вид *Aspergillus niger*.

Темный цвет старого дерева и его шероховатая поверхность визуально сливается с темным цветом спороносных органов грибов, однако микроскопический анализ позволил подсчитать их среднее число на 1 см² и рассчитать площадь поражения грибами (рис. 4). Установлено, что количество конидиеносцев на 1 см² покрытого лаком образца было в среднем на порядок меньше, чем в варианте без лака (рис. 4: А). Обработка лаком привела

к уменьшению площади обрастания образца в 5,8 раза по сравнению с контрольным вариантом, и составляла всего $15,8 \pm 9,1\%$ от всей поверхности образца на 21 сутки инкубирования, в то время как у необработанного лаком образца – $91,2 \pm 2,4\%$ (рис. 4: В).

Опрыскивание образцов спорами *A. niger*, *P. chrysogenum*, *F. graminearum* и *A. puulaauensis* в среде Чапека-Докса привело к интенсивному обрастанию необработанного лаком образца, на поверхности которого уже на 7 сутки инкубирования отмечали рост двух видов микроскопических грибов *A. niger* и *F. graminearum* (рис. 5). На образце, обработанном лаком, в течение всего эксперимента фиксировали рост только *A. niger*. Известно, что микромицеты, относящиеся к роду *Fusarium*, имеют войлочный септированный воздушный мицелий, обычно окрашенный в белый цвет, на котором находятся короткие разветвленные конидиеносцы с макро- и микроконидиями (Вершинина и др., 2022, с. 45). В отличие от конидиеносцев *A. niger*

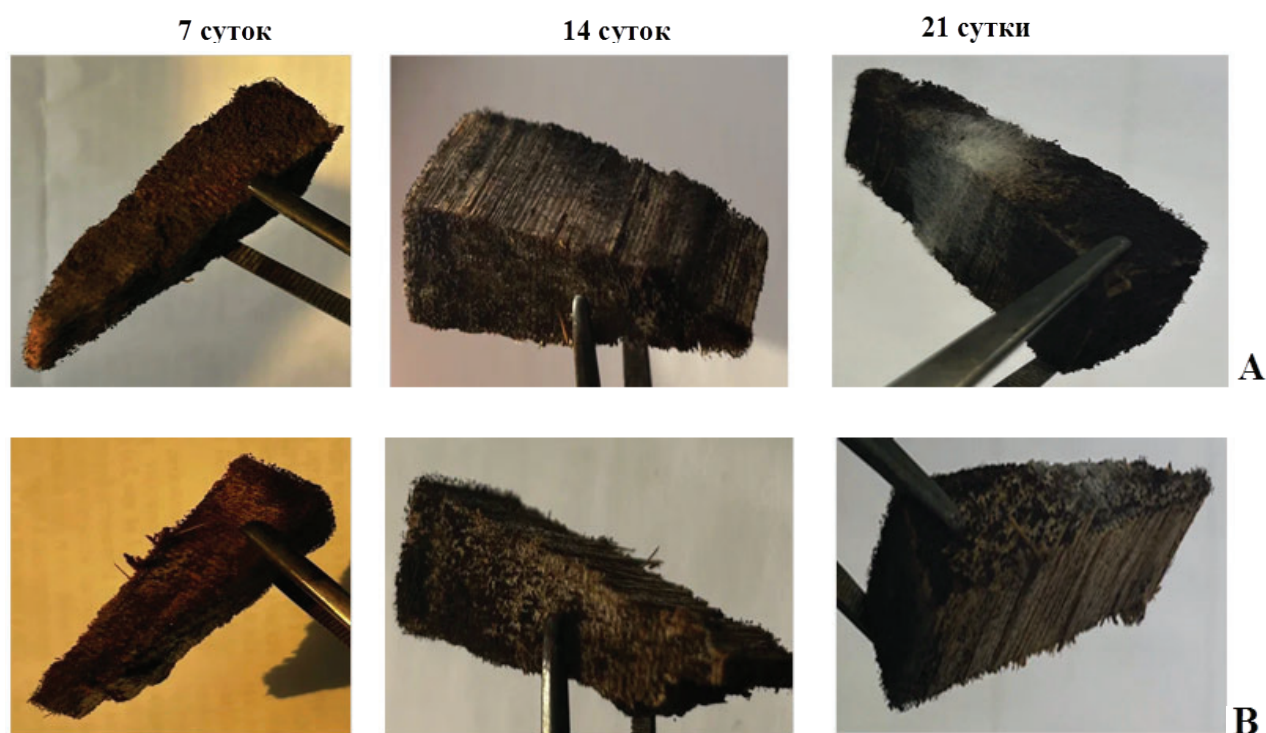


Рис. 2. Обрастание образцов старого дерева в условии имитации минеральных и органических загрязнений (среда Чапека-Докса). А – фрагмент без обработки лаком, В – фрагмент, обработанный лаком.

Fig. 2. Fouling of old wood samples in the condition, imitated mineral and organic pollution (Czapek-Dox medium). А – fragment without treating by varnish; В - fragment, treated by varnish.

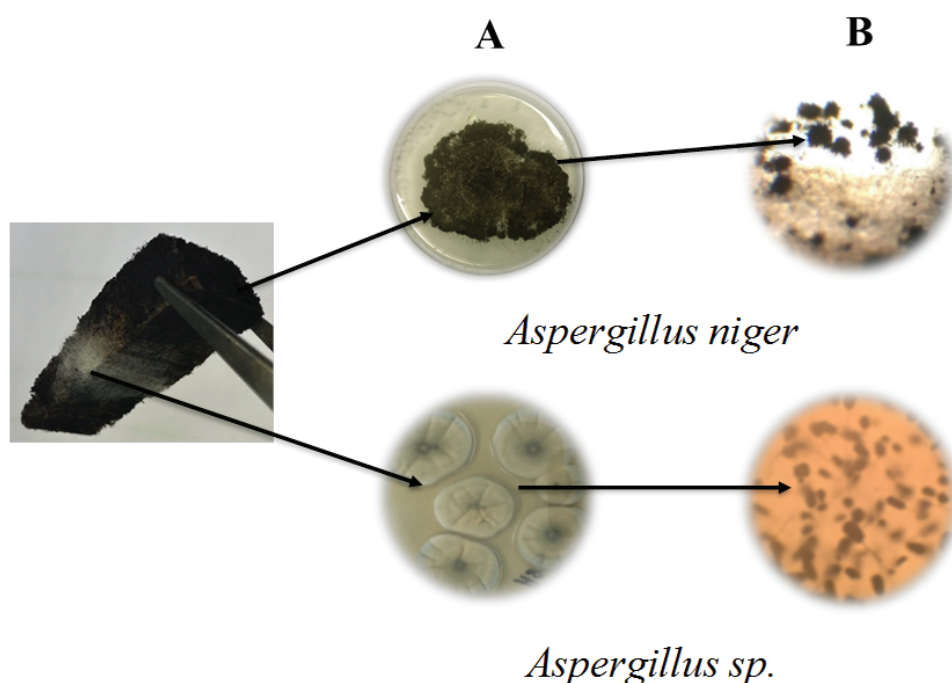


Рис. 3. Морфология микромицетов, выделенных с необработанного лаком образца, на 21 сутки культивирования: А – рост микромицетов на среде Чапека-Докса; В – конидиеносцы под микроскопом (увеличение $\times 640$).

Fig. 3. Morphology of micromycetes isolated from the untreated sample on the 21st day of cultivation: А – growth of micromycetes on Czapek-Dox medium; В – conidiophores under microscope (magnification $\times 640$).

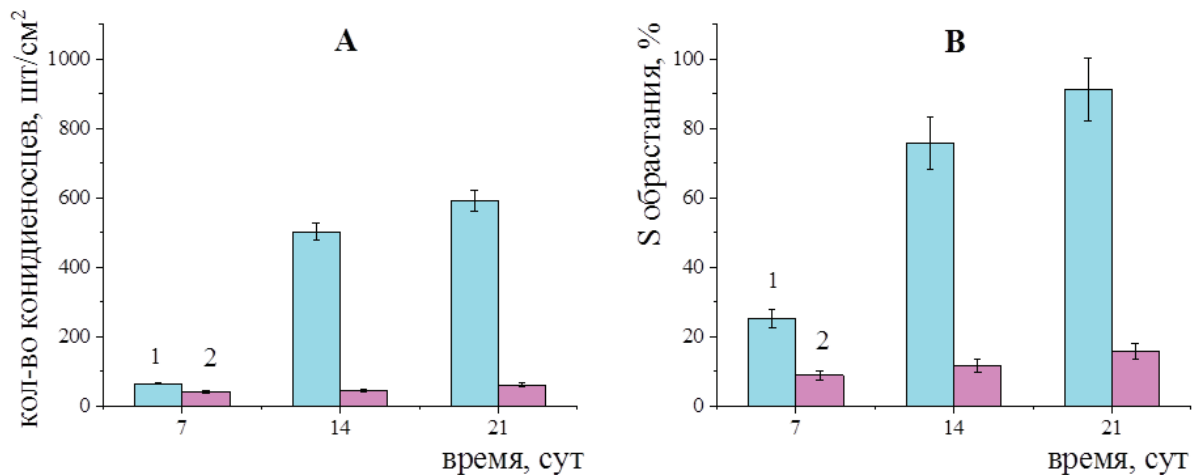


Рис. 4. Влияние полисилоксановых покрытий на прорастание спор (А) и на площадь поражения микромицетами (В) поверхности фрагментов старого дерева, обработанного стерильной средой Чапека-Докса: 1 – контрольный образец без обработки; 2 – образец, обработанный лаком.

Fig. 4. Effect of polysiloxane coatings on spore germination (A) and on the area affected by micromycetes (B) on the surface of old tree fragments treated by sterile Czapek-Dox medium: 1 – control sample without treatment; 2 - sample, treated with varnish

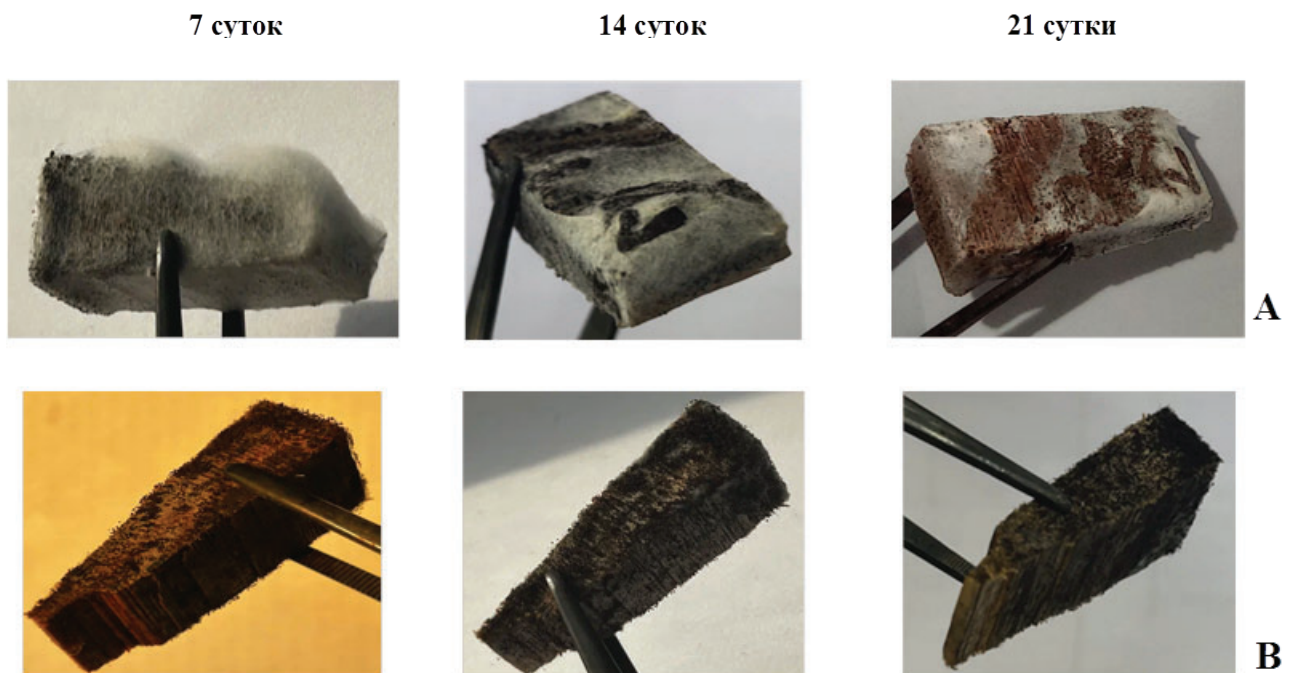


Рис. 5. Обрастание образцов старого дерева, обработанного спорами микроскопических грибов, в условии имитации минеральных и органических загрязнений. А – фрагмент без обработки; В – фрагмент, обработанный лаком.

Fig. 5. Fouling of old wood samples, treated with spores of microscopic fungi in the condition, imitated mineral and organic pollution. А – fragment without treatment; В – fragment, treated with varnish.

они не видны невооруженном глазом и, следовательно, не могут быть учтены при расчете с использованием программы ImageJ. Поэтому количество конидиеносцев на образцах, а также обрастание образцов рассчитывали только с учетом конидиеносцев *A. niger*. На 21

сутки инкубирования на обработанном лаком образце количество конидиеносцев на 1 см² поверхности было в среднем в $7,2 \pm 0,2$ раза меньше, чем в контрольном варианте (рис. 6: А). Обработка образцов лаком значительно снизила площадь обрастания. Так, на 21 сутки

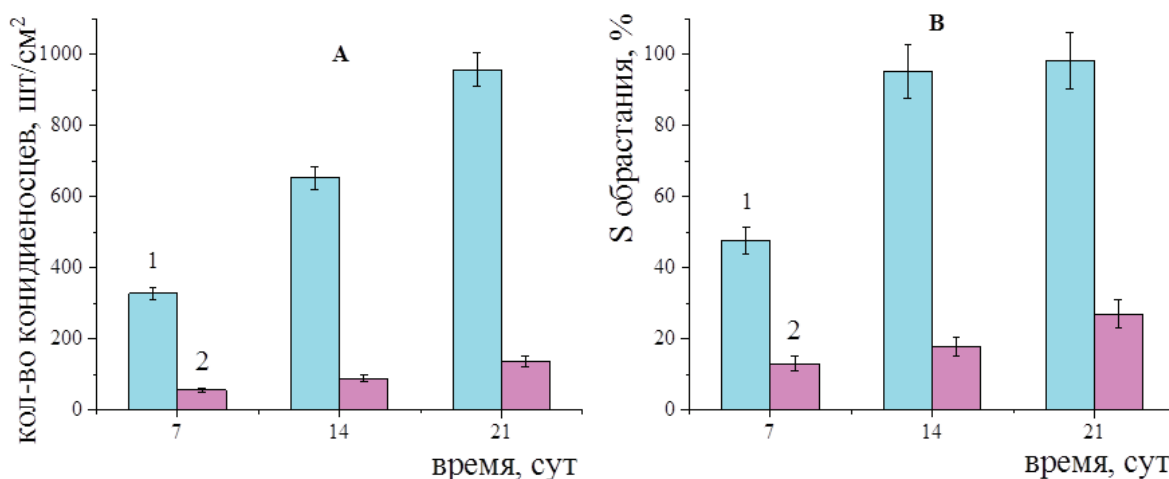


Рис. 6. Влияние полисилоксановых покрытий на прорастание спор (А) и площадь поражения микромицетами (В) на поверхности старых древесных фрагментов, обработанных спорами микроскопических грибов *A. niger*, *P. chrysogenum*, *F. graminearum* и *A. puulaauensis* в среде Чапека-Докса: 1 – контрольный образец без обработки; 2 – образец, обработанный лаком.

Fig. 6. Effect of polysiloxane coatings on spore germination (A) and the area of micromycete fouling (B) on the surface of old wood fragments, treated with spores of microscopic fungi *A. niger*, *P. chrysogenum*, *F. graminearum* and *A. puulaauensis* in Czapek-Dox medium: 1 – control sample without treatment; 2 – sample, treated with varnish.

ингибирования она составляла $26,9 \pm 4,0\%$, в то время как у необработанного лаком образца эта величина составила $98,2 \pm 7,9\%$ (рис. 6: В).

Таким образом, нанесение полисилоксановых покрытий на поверхность образцов фрагмента конструктивного элемента Троицкой церкви XVI века (г. Свияжск) привело к увеличению их грибостойкости в условиях, имитирующих минеральное и органическое загрязнение. Искусственно созданные в лаборатории условия, оптимальные для роста грибов, выявили особо активный деструктор – микромицет *Aspergillus niger*, широко

встречающийся в окружающей среде, в частности в почве. Для этого вида зарегистрирован нами ранее высокий уровень биосинтеза органических кислот, которые вносят вклад в разрушение различных материалов (Pinskaya et al., 2018; Yakovleva et al., 2018). Установлено, что использование полисилоксанового лака снижет степень обрастания фрагментов дерева микромицетами примерно на порядок по сравнению с необработанными лаком образцами. Полученные результаты позволяют рекомендовать использование полисилоксановых покрытий для сохранения особо важных фрагментов деревянных артефактов.

ЛИТЕРАТУРА

Антонов В.Б. Экологические причины микозов и микогенной аллергии у городских жителей. // Проблемы медицинской микологии. 2002. Т. 4 (2). С. 64.

Вершинина В.И., Ильинская О.Н., Карамова Н.С., Марданова А.М., Яковлева Г.Ю. Микробиология: основы теории и практики: учебное пособие. Казань: КФУ. 2022. 156 с.

ГОСТ 9.048-89. Единая система защиты от коррозии и старения. Изделия технические. Методы лабораторных испытаний на стойкость к воздействию плесневых грибов. М.: Издательство стандартов, 1989. 23 с.

Доцник С., Ефремова А. Особенности проведения испытаний на стойкость к воздействию плесневых грибов. // Электроника, наука, бизнес, технологии. 2019. № 5. С. 74–78.

Еремеева С.В. Плесневые грибы. Методы выделения, идентификации, хранения: справочное пособие для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлениям и специальностям экологического, биологического и биотехнологического профиля. Астрахань: АГТУ. 2009. 104 с.

Карамова, Н.С., Надеева Г.В., Багаева Т.В. Методы исследования и оценки биоповреждений, вызываемых микроорганизмами. Учебно-методическое пособие. Казань: Казанского университета, 2014. 36 с.

Пехташева Е.Л., Неверов А.Н., Заиков Г.Е., Стоянов О.В. Биодеструкция и биоповреждения материалов. Кто за это в ответе? // Вестник Казанского технологического университета. 2012. Т. 15 (8). С. 222–233.

Покровская Е.Н., Ковальчук Ю.Л. Химико-микологические исследования и улучшение экологии внутри зданий. // Вестник Московского государственного строительного университета. 2012. № 8. С. 181–188.

Allsopp D., Seal K., Gaylarde Ch. J. Introduction to biodeterioration. 2nd edn. Cambridge University Press, 2004. 252 p.

Danilaev M., Yakovleva G., Karandashov S., Kuklin V., Le H.Q., Kurdy W., Ilinskaya O. Polysiloxane coatings biodeterioration in nature and laboratory. // Microorganisms. 2022. Vol. 10 (8). P.1597.

Ilinskaya O., Bayazitova A., Yakovleva G. Biocorrosion of materials and sick building syndrome. // Microbiology Australia. 2018. V. 39(3). P. 129–132.

Yakovleva G., Sagadeev E., Stroganov V., Kozlova O., Okunev R., Ilinskaya O. Metabolic activity of micromycetes affecting urban concrete constructions. // The Scientific World Journal. 2018. V. 2018. P. 1–9.

Информация об авторах:

Яковлева Галина Юрьевна, кандидат биологических наук, доцент, Казанский федеральный университет (г. Казань, Россия); yakovleva_galina@mail.ru

Миронская Екатерина Алексеевна, магистр, Казанский федеральный университет (г. Казань, Россия); katty.mironskaya@mail.ru

Курди, Уильям, аспирант, Казанский федеральный университет (г. Казань, Россия); william.m.kurdy@hotmail.com

Данилаев Максим Петрович, доктор технических наук, профессор, Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н.Туполева – КАИ (г. Казань, Россия); danilaev@mail.ru

Ильинская Ольга Николаевна, доктор биологических наук, профессор, Казанский федеральный университет (г. Казань, Россия); ilinskaya_kfu@mail.ru

REFERENCES

Antonov, V. B. 2002. In *Problemy meditsinskoj mikologii (Problems in medical mycology)*. Vol. 4, no 2, 64 (in Russian).

Vershinina, V. I., Ilinskaya, O. N., Karamova, N. S., Mardanova, A. M., Yakovleva, G. Yu. 2022. *Mikrobiologiya: osnovy teorii i praktiki (Microbiology: fundamentals of theory and practice)*. Kazan: Kazan Federal University (in Russian).

1989. GOST 9.048-89. *Edinaya sistema zashchity ot korrozii i stareniya. Izdeliya tekhnicheskie. Metody laboratornykh ispytaniy na stoykost' k vozdeystviyu plesnevykh gribov (GOST 9.048-89. Unified system of protection against corrosion and aging. Technical products. Methods of laboratory testing for resistance to mold fungi)*. Moscow: "Izdatel'stvo standartov" Publ. (in Russian).

Dotsnik, S., Efremova, A. 2019. In *Elektronika, nauka, biznes, tekhnologii (Electronics, science, business, technology)* (5), 74–78 (in Russian).

Eremeeva, S. V. 2009. *Plesnevye griby. Metody vydeleniya, identifikatsii, khraneniya (Mold fungi. Methods of isolation, identification, storage)*. Astrakhan: Astrakhan State Technical University (in Russian).

Karamova, N. S., Nadeeva, G. V., Bagaeva, T. V. 2014. *Metody issledovaniya i otsenki biopovrezhdeniy, vyzyvayemykh mikroorganizmami (Methods for the study and evaluation of biodamages caused by microorganisms)*. Kazan: Kazan Federal University (in Russian).

Pekhtasheva, E. L., Neverov, A. N., Zaikov, G. E., Stoyanov, O. V. 2012. In *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta (Bulletin of the Kazan Technological University)* 15 (8), 222–233 (in Russian).

Pokrovskaya, E. N., Kovalchuk, Yu. L. 2012. In *Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo stroitel'nogo universiteta (Bulletin of the Moscow State University of Civil Engineering)* (8), 181–188 (in Russian).

Allsopp, D., Seal, K., Gaylarde, Ch. J. 2004. *Introduction to biodeterioration*. 2nd edn. Cambridge University Press.

Danilaev, M., Yakovleva, G., Karandashov, S., Kuklin V., Le, H.Q., Kurdy, W., Ilinskaya, O. 2022. In *Microorganisms*. Vol. 10 (8), 1597 (in English).

Ilinskaya, O., Bayazitova, A., Yakovleva, G. 2018. In *Microbiology Australia*. Vol. 39 (3), 129–132 (in English).

Yakovleva G., Sagadeev E., Stroganov V., Kozlova O., Okunev R., Ilinskaya O. 2018. In *The Scientific World Journal*. 2018. V., 1–9 (in English).

About the Authors:

Yakovleva Galina Yu. Candidate of Biological Sciences, assistant professor, Kazan (Volga Region) Federal University. Kremlyovskaya St., 18, Kazan, 420000, the Republic of Tatarstan, Russian Federation; yakovleva_galina@mail.ru

Mironskaya Ekaterina A. Kazan (Volga Region) Federal University. Kremlyovskaya St., 18, Kazan, 420000, the Republic of Tatarstan, Russian Federation; katya.mironskaya@mail.ru

Kurdi William, Kazan (Volga Region) Federal University. Kremlyovskaya St., 18, Kazan, 420000, the Republic of Tatarstan, Russian Federation; william.m.kurdy@hotmail.com

Danilaev Maksim P. Doctor of Technical Sciences. Professor. Kazan National Research Technical University named after A. N. Tupolev – KAI. K.Marx St., 10, Kazan, 420111, Republic of Tatarstan, Russian Federation; danilaev@mail.ru

Ilinskaya Olga N. Doctor of Biological Sciences, Professor. Kazan (Volga Region) Federal University. Kremlyovskaya St., 18, Kazan, 420000, the Republic of Tatarstan, Russian Federation; ilinskaya_kfu@mail.ru



Статья поступила в журнал 01.06.2023 г.

Статья принята к публикации 01.08.2023 г.

Авторы внесли равноценный вклад в работу.