

Обзорная статья

УДК 620.193.8

DOI: 10.18577/2307-6046-2026-0-8-208-220

СОВРЕМЕННЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ МИКОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ В РОССИИ В ОБЛАСТИ ПРОБЛЕМЫ БИОПОВРЕЖДЕНИЙ (обзор)

А.А. Кривушина¹, Д.Н. Мосунова¹, Ю.С. Горяшник¹, Т.В. Яковенко¹

¹Федеральное государственное унитарное предприятие «Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов» Национального исследовательского центра «Курчатовский институт», Москва, Россия; admin@viam.ru

Аннотация. Представлен обзор основных направлений микологических исследовательских работ по теме биоповреждений, проведенных в России за последние годы. К ключевым направлениям относятся изучение биоразнообразия и видового состава микромицетов-деструкторов, влияния их деятельности на материалы, изделия и конструкции; исследование грибных метаболитов и физиологических свойств микромицетов-деструкторов; оценка грибостойкости материалов и эффективности фунгицидных препаратов; подбор средств защиты от микробиологических повреждений.

Ключевые слова: биоповреждения, биоразнообразие, биоциды, грибостойкость, микология, микроорганизмы-деструкторы, микробиологическая стойкость, микробиологические повреждения, ферменты грибов, фунгициды

Для цитирования: Кривушина А.А., Мосунова Д.Н., Горяшник Ю.С., Яковенко Т.В. Современные направления микологических исследований в России в области проблемы биоповреждений (обзор) // Труды ВИАМ. 2026. № 8 (162). С. 208–220. URL: <http://www.viam-works.ru>. DOI: 10.18577/2307-6046-2026-0-8-208-220.

Review article

CONTEMPORARY DIRECTIONS OF MYCOLOGICAL RESEARCH IN RUSSIA ON THE PROBLEM OF BIODETERIORATION (review)

A.A. Krivushina¹, D.N. Mosunova¹, Yu.S. Goryashnik¹, T.V. Iakovenko¹

¹Federal State Unitary Enterprise «All-Russian Scientific-Research Institute of Aviation Materials» of National Research Center «Kurchatov Institute», Moscow, Russia; admin@viam.ru

Abstract. The article provides an overview of the main areas of mycological research in Russia on biodeterioration in recent years. The main areas include research on the biodiversity and species composition of microfungi-destructors, the impact of their activities on materials, products, and structures; research on fungal metabolites and other physiological properties of microfungi-destructors; research on the fungal resistance of materials and the effectiveness of fungicidal agents, and the selection of means of protection against microbiological biodeterioration.

Keywords: biopdeterioration, biodiversity, biocides, fungal resistance, mycology, destructive microorganisms, microbiological resistance, microbiological damage, fungal enzymes, fungicides

For citation: Krivushina A.A., Mosunova D.N., Goryashnik Yu.S., Iakovenko T.V. Contemporary directions of mycological research in Russia on the problem of biodeterioration (review). *Trudy VIAM*, 2026, no. 8 (162), pp. 208–220. Available at: <http://www.viam-works.ru>. DOI: 10.18577/2307-6046-2026-0-8-208-220.

Введение

Проблема микробиологических повреждений различных материалов и изделий не теряет актуальности в нашей стране, о чем свидетельствуют многочисленные исследовательские работы. Биодеструкцию материалов способны вызывать различные микроорганизмы и их ассоциации. Результаты исследований подтверждают, что процессы биодеструкции материалов в значительной степени обусловлены жизнедеятельностью микроскопических грибов, или микромицетов [1]. Соответственно, для понимания особенностей биодеструкции и подбора эффективных средств защиты необходимо комплексное изучение всех этапов процесса, включая биологические особенности самих микроорганизмов; химические реакции, проходящие в материале и на его поверхности; изменения свойств материалов под воздействием микроорганизмов с точки зрения материаловедения и др. [2–4].

Цель данного обзора – анализ основных направлений микологических исследовательских работ по теме биоповреждений, проведенных в России за последние годы.

Работа выполнена при поддержке ЦКП «Климатические испытания» НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ.

Изучение биоразнообразия микромицетов-деструкторов и влияния их деятельности на материалы, изделия и конструкции

Большое количество научных работ посвящено изучению биологического разнообразия, численности и видового состава микромицетов, контаминирующих различные материалы, изделия и конструкции. Можно выделить ряд видов, штаммы которых наиболее часто выделяют с поверхности материалов и изделий. В основном это несовершенные стадии аскомицетов, такие роды грибов, как *Penicillium*, *Aspergillus*, *Alternaria*, *Cladosporium*, *Trichoderma*, *Paecilomyces* и др. [1]. Но исследования биоразнообразия микромицетов-контаминантов и микромицетов-деструкторов остаются релевантными, поскольку процессы адаптации у микроорганизмов к новым субстратам происходят постоянно, в списках деструкторов материалов периодически появляются новые виды, ранее не отмеченные на субстратах антропогенного происхождения. Например, известно, что авиационное топливо заселяется ограниченным количеством видов микроскопических грибов, среди которых доминирует вид *Hormoconis resinae*. Однако в работе [5] представлен новый вид, способный к активному росту и развитию в авиационном топливе, – *Monascus floridanus*. Этот гриб по скорости роста и интенсивности накопления биомассы даже превосходит некоторые штаммы «керосинового» гриба.

Помимо выделения культивируемых форм грибов классическими методами, в последние годы широко применяются и молекулярно-генетические методы изучения ассоциаций микроорганизмов. В частности, благодаря метагеномному анализу возможно изучение видового состава некультивируемых форм микроорганизмов, в том числе микромицетов [6, 7]. Однако ряд исследователей отмечает, что следует проявлять осторожность при интерпретации данных по выявлению ДНК микроорганизмов, для окончательных выводов по влиянию микроорганизмов на процессы деструкции необходимо подтверждение результатами микроскопических исследований и выявления грибов культуральными методами [6].

Вопрос необходимости совместного применения культуральных и молекулярно-генетических подходов при изучении видового состава микроорганизмов на поверхности изделий неоднократно поднимался в ряде работ. Так, в работах [7, 8] изучены сообщества микроскопических грибов, заселяющих каменные памятники в Санкт-Петербурге. Доминирующим видом по частоте встречаемости и обилию по данным классических

культуральных методов выделения является вид *Aureobasidium pullulans*, по данным метагеномного анализа – вид *Knufia karalitana*. В работе [9] изучен видовой состав микромицетов, контаминирующих образцы оргстекла с покрытием из полисилоксанов после экспозиции в условиях тропического климата. Наиболее часто выявляют представителей родов *Aspergillus*, *Penicillium*, *Fusarium*, *Alternaria*, доминирующими видами являются *Aspergillus niger*, *Penicillium chrysogenum* и *Aspergillus puulaauensis*. Выделение микромицетов проводили классическими культуральными методами, идентификацию – с применением молекулярно-генетических методов.

Большое количество работ посвящено изучению разнообразия микроскопических грибов, заселяющих жилые помещения, библиотеки и книгохранилища. Например, в работе [10] представлены результаты исследования сообществ микромицетов, контаминирующих библиотечные документы, в 57 городах различных регионов России, выявлены 95 видов микромицетов с преобладанием представителей отдела *Ascomycota*. Изучены состав микромицетов, контаминирующих жилые помещения города Чаренцаван [11], проведена оценка микологического состояния помещений хранения документов национального архива Республики Татарстан [12]. Изучение микромицетов, контаминирующих архивные документы и средства архивного хранения [13], показало, что наиболее часто встречаются изоляты вида *Aspergillus fumigatus*. Все исследователи отмечают важность проведения постоянного микологического контроля состояния помещений.

Развитие микроорганизмов в помещениях не только пагубно сказывается на состоянии мебели, книг и документов, но также может негативно влиять на здоровье сотрудников (особенно со сниженным иммунитетом), работающих в данных помещениях. Среди факторов риска – возникновение аллергических реакций [14]. Чаще всего основной причиной активного развития микроскопических грибов на стенах помещений являются нарушения технологий строительства, что приводит к изменениям температурно-влажностного режима, и применение негрибостойких материалов [11].

Исследователи отмечают, что микробиологические повреждения в помещениях вызваны в большинстве случаев не отдельными видами грибов, а ассоциациями микроорганизмов [11]. Соответственно, изучение состава таких ассоциаций представляет особую значимость для понимания процессов колонизации материалов биодеструкторами, дальнейшего прогнозирования и поиска решений проблемы.

Отдельного внимания заслуживает проблема биоповреждения картин и других произведений искусства. Большое количество исследований посвящено изучению видового состава микромицетов-деструкторов, заселяющих данные субстраты. Картины часто содержат компоненты, являющиеся источником питания для микроскопических грибов, поэтому микробиологические повреждения произведений искусства распространены. С использованием классических культуральных методов и метагеномного секвенирования авторы работы [15] выявили штаммы микромицетов-деструкторов, поражающих в Государственной Третьяковской галерее картины, написанные темперой. В работе [6] исследован видовой состав микроорганизмов, в том числе микроскопических грибов, контаминирующих произведения искусства в экспозиции Государственной Третьяковской галереи, с помощью различных методов: культуральных, молекулярно-генетических, биолюминесцентных и др. Среди культивируемых форм наиболее часто выявляли представителей родов *Aspergillus*, *Cladosporium* и *Ulocladium*.

Исследовано видовое разнообразие микромицетов на минеральных строительных материалах в интерьерах памятников культурного наследия [16]. Отмечено, что видовой состав микрофлоры на минеральных строительных материалах своеобразен, поскольку штукатурка и белый камень (известняк) характеризуются недостатком

легкодоступных органических веществ, большим количеством минеральных солей, а также низкой кислотностью (рН среды колеблется от слабокислых до щелочных значений). Виды родов *Aspergillus* и *Penicillium*, которые часто преобладают на других субстратах, в данных условиях встречаются реже, из доминирующих видов отмечены представители родов *Acremonium*, *Lecanicillium*, *Parengyodontium*, *Purpureocilium*, *Sarocladium*. В работе [7] с поверхности памятников из мрамора и гранита в Санкт-Петербурге культуральными методами выделены темноокрашенные микромицеты родов *Alternaria*, *Cladosporium*, *Coniosporium*, *Phoma*, доминировал вид *Aureobasidium pullulans*. С помощью метагеномного анализа также удалось выявить большое количество базидиомицетов, которые не выделяются классическими культуральными методами. Кроме того, субстратом для биодеструкторов, развивающихся на поверхности памятников, зданий и других сооружений на открытом воздухе, служит не только сам материал поверхности, но и различные наслоения в виде внешних загрязнений, растительного опада, атмосферных осадков. В результате создается специфическая экологическая ниша для грибов, поскольку наличие дополнительных источников питания способствует их активному росту и развитию [7, 8].

Исследования грибных метаболитов и физиологических свойств микромицетов-деструкторов

Микромицеты-деструкторы обладают рядом физиологических свойств, позволивших им занять специфическую экологическую нишу и приспособиться к использованию компонентов материалов в качестве источника питания [1, 5]. В частности, это возможно благодаря широкому спектру синтезируемых ими ферментов. Соответственно, подобные штаммы микромицетов представляют большой интерес для исследований, связанных с выделением синтезируемых высокоактивных ферментов, кислот и других метаболитов [17–20]. Например, в работе [21] изучены экстрацеллюлярные ферменты 20 культур микромицетов-деструкторов, поражающих материалы в условиях тропического климата. Показано, что 19 штаммам присуща каталазная активность, 18 – фенолоксидазная, 8 – протеазная. В работе [22] исследован метаболитный профиль биодеструктора *Lecanicillium gracile*, выделенного со штукатурки и белого камня в помещениях памятников культурного наследия России. Отмечены биохимические особенности вида, которые способствуют его успешному развитию на каменистых субстратах.

Среди микромицетов-деструкторов часто можно встретить грибы, которые в природе являются сапротрофами и/или фитопатогенами. Фитопатогенным видам грибов для разрушения клеточной стенки и проникновения в растение необходим определенный комплекс ферментов, т. е. они могут обладать потенциалом для разложения широкого спектра сложных соединений, в том числе ароматических. Так, в работе [23] изучены ферменты, синтезируемые фитопатогеном *Microdochium nivale*. Отмечены высокая активность ферментов лигнолитического комплекса и способность к биodeградации фенольных соединений у штаммов данного вида. Подобные культуры можно применять для промышленной биоконверсии лигноцеллюлозы и устойчивых продуктов фармацевтических производств, а также для биоремедиации.

Еще один яркий и интересный пример использования физиологических свойств грибов-биодеструкторов представлен в работе [15]: культуры грибов, выделенные в Государственной Третьяковской галерее с картин, написанных темперой, предложено применять в качестве биотрансформаторов стероидов. Поскольку основу пигментных красок для темперной живописи составляет желток куриного яйца, содержащий большое количество холестерина, а в составе лаков имеется высокое содержание разнообразных

тритерпеноидов, то культуры грибов-деструкторов данных картин предположительно должны обладать способностью к деструкции этих соединений. Показано, что выделенные микромицеты действительно обладают стероид-трансформирующей активностью и могут применяться в промышленных масштабах для биотехнологического скрининга.

Помимо ферментов, интерес для исследователей представляют кислоты, синтезируемые микромицетами. Микромицеты-деструкторы также обладают широкими возможностями для синтеза большого количества кислот, являющихся катализаторами расщепления сложных веществ до более простых соединений. В работе [9] изучен спектр органических кислот, продуцируемых видами *Aspergillus niger*, *Penicillium chrysogenum* и *Aspergillus puulaauensis*, выделенными с образцов оргстекла с покрытием из полисилоксанов после экспозиции в условиях тропического климата. Для этих целей использован метод газовой хроматографии. Штамм вида *Aspergillus puulaauensis* синтезировал большое количество щавелевой кислоты, вида *Aspergillus niger* – яблочной и лимонной кислот, у обоих штаммов также выявлен синтез молочной кислоты. Отмечено, что влияние органических кислот в процессах биоповреждений изученных покрытий подтверждается доминированием штаммов вида *Aspergillus niger*, который является активным продуцентом органических кислот.

Все чаще можно встретить работы о перспективах применения культур микроскопических грибов для создания технологии биоремедиации и переработки отходов. В основном для этих целей применяют бактериальные культуры, однако штаммы микроскопических грибов являются перспективными для реализации этого направления [24]. Так, в работе [25] рассмотрены перспективы применения штамма вида *Aspergillus niger* для процессов биоремедиации почвы и воды, загрязненных нефтью. Кроме того, перспективно применение микромицетов для детоксикации металлов. Изучены штаммы видов *Penicillium chrysogenum* и *Aspergillus niger*, обладающие способностью к детоксикации цинка путем синтеза двухводного оксалата цинка и щавелевой кислоты [26]. В работе [27] изучена способность штамма вида *Penicillium verrucosum* разрушать микроцистин-LR в основном за счет процессов биодеструкции, в меньшей степени – за счет сорбции соединения на клеточном уровне. Предложено применение данного штамма для биоремедиации водных объектов, загрязненных микроцистинами. В исследовании [28] изучена способность почвенных микромицетов к биодеградации длинноцепочечных алкилфенолов, в частности выделен наиболее активный штамм вида *Fusarium solani*, вызывающий биодеградацию алкилфенолов в условиях как кометаболизма, так и отсутствия дополнительных источников углерода. Исследованные культуры предложено применять для создания технологии биоремедиации почв и воды, загрязненных гормоноподобными ксенобиотиками.

Для роста и развития микромицетов, в том числе вызывающих микробиологические повреждения, большое значение имеют внешние условия, поэтому изучение условий культивирования является отдельным направлением исследований. Так, в работе [29] изучено влияние питательных сред различного состава, температуры и ультрафиолетового излучения на рост и развитие гриба *Serpula lacrymans*, вызывающего биоповреждения древесины. Авторы работы [13] провели сравнительное исследование активности спорообразования штаммов вида *Aspergillus fumigatus*, выделенных из пылевидных налетов на архивных документах и стеллажах в хранилищах. Для этих исследований применяли питательные среды различного состава, в частности с разными источниками углерода и показателями активности воды, поскольку для ксерофильных сообществ в книгохранилищах этот показатель имеет большое значение.

Ряд исследовательских работ направлен на поиск новых механизмов подавления роста и развития биодеструкторов, т. е. новых средств защиты от микробиологических повреждений материалов, вызываемых грибами. Так, в работе [30] исследовано влияние субмикронных частиц оксидов тяжелых металлов с фотокаталитической активностью на состав органических кислот в среде культивирования микромицетов-деструкторов видов *Aspergillus niger*, *Chaetomium globosum* и *Penicillium chrysogenum*. Отмечено, что изученные соединения способны ингибировать процессы кислотообразования у штаммов микромицетов-деструкторов и их можно использовать в качестве средства защиты материалов от микробиологических повреждений.

Изучение грибостойкости материалов и эффективности фунгицидных препаратов, подбор средств защиты от микробиологических повреждений

Существуют различные методики проведения испытания материалов и изделий на грибостойкость, регламентированные российскими и международными стандартами. Основная суть подобных испытаний сводится к обработке исследуемых образцов суспензией спор заранее выращенных культур микромицетов-деструкторов и их выдержке при повышенных влажности и температуре [1]. После экспозиции проводится оценка грибостойкости по степени обрастания поверхности и изменению характерных для материала показателей. Например, в работе [31] изучены грибостойкость и фунгистатические свойства малощелочного галлиевогерманосиликатного стекла и стеклокерамики на его основе, поскольку известно, что ионы галлия способны угнетать рост грибов. Отмечено, что исследованные материалы не обладают фунгистатическими свойствами, однако являются грибостойкими.

Наиболее часто такие испытания проводятся в воздушной среде, однако ряд стандартов регламентирует испытания в почвенной среде. Так, в работе [32] изучены процессы биодеструкции полимерных волокнистых материалов двумя способами: почвенные тесты и испытания грибостойкости в воздушной среде. Для проведения почвенных тестов образцы полимеров помещали в восстановленный почвогрунт, регулярно поливали его и замеряли влажность, по истечении срока эксперимента проводили оценку биодеструкции поверхности методами оптической микроскопии.

Помимо изучения стойкости материалов к воздействию микроскопических грибов, существует ряд методик, позволяющих исследовать наличие у материала фунгицидных свойств, т. е. способности самого материала подавлять рост и развитие микромицетов [1, 33]. Добиться такого эффекта можно с помощью модификации полимера либо введения в его состав компонента, обладающего фунгицидными свойствами. Так, в работе [34] изучена эффективность ряда фунгицидных препаратов, включенных в биоразрушаемую полимерную основу. Препараты применяются для защиты от грибных болезней зерновых и овощных культур, фунгициды воздействуют за счет постепенного выхода активных веществ в почву и поддержания их эффективной концентрации в определенной области.

Подбор биоцидных препаратов и исследование их эффективности – одна из наиболее важных задач в области биоповреждений. Соответственно, проведено много научно-исследовательских работ, посвященных поиску новых препаратов и соединений, подавляющих рост и развитие микроорганизмов-деструкторов. Так, в работе [35] исследованы состав микобиоты, вызывающей микробиологические повреждения строительных материалов в зданиях, и действие биоцидных препаратов на выделенные штаммы микроскопических грибов. Установлено, что из-за меняющегося состава микроорганизмов, инициирующих микробиологические повреждения строительных материалов, в каждой конкретной ситуации обработка препаратами с биоцидным эффектом должна быть специфичной.

В работе [21] исследована степень воздействия ряда промышленных биоцидов на активность экстрацеллюлярных ферментов микромицетов-деструкторов, поражающих материалы в условиях тропического климата. Показано, что исследованные препараты в большей степени подавляют внеклеточную каталазу, данный эффект наблюдали практически у всех культур. Меньшее снижение активности отмечено для таких ферментов, как фенолоксидаза и протеаза. Отмечено, что в некоторых случаях под воздействием биоцидных препаратов происходит обратная реакция, а именно увеличение активности внеклеточных ферментов. В работе [30] показана возможность применения оксидов тяжелых металлов WO_3 , $CsTeMoO_6$ и $RbTe_{1,5}W_{0,5}O_6$ с фотокаталитической активностью в качестве компонентов, подавляющих кислотообразование у штаммов микромицетов-деструкторов видов *Aspergillus niger*, *Chaetomium globosum* и *Penicillium chrysogenum*.

Как указано ранее, отдельную проблему составляют биоповреждения картин, произведений искусства и объектов культурного наследия, поскольку для устранения самой проблемы и их дальнейшей защиты приходится подбирать нестандартные методы борьбы. Исследователи отмечают, что от некоторых биоцидных препаратов пришлось отказаться ввиду их влияния на декоративные свойства красок и покрытий, а в ряде случаев из-за токсичности по отношению к человеку. Поэтому важной задачей является подбор не только эффективных, но и безопасных для человека биоцидных препаратов. В работе [36] изучены фунгицидные свойства низкомолекулярных хитозанов для защиты объектов изобразительного искусства от воздействия микромицетов-деструкторов. Показано, что хитозан, выделенный из личинок мухи *Hermetia illucens*, перспективен для применения в качестве средства защиты объектов изобразительного искусства. В работе [15] представлены антисептики, которые подавляют рост микромицетов-деструкторов, поражающих в Государственной Третьяковской галерее картины, написанные темперой.

В исследованиях, касающихся эффективности применения биоцидных и фунгицидных препаратов, рассматривается проблема возникновения резистентности, или устойчивости, микроорганизмов к химическим соединениям. Это касается не только области биоповреждений, но и других сфер, где применяются биоциды. Для борьбы с этой проблемой важны исследования генетических механизмов возникновения резистентности, структуры популяций микроорганизмов, экологических особенностей обитания и мониторинговые исследования в разных странах [37].

Заключения

Анализ данных микологических исследований по теме биоповреждений показал актуальность данной проблемы в нашей стране. Отмечено, что в процессах биодеструкции материалов участвуют микроскопические грибы, которые обладают широкими адаптивными способностями к изменениям внешней среды. Большое количество работ посвящено изучению биоразнообразия микромицетов-деструкторов, поскольку процессы адаптации происходят постоянно. В списках деструкторов материалов периодически появляются новые виды, ранее не отмеченные на субстратах антропогенного происхождения. Кроме того, физиологические свойства микромицетов-деструкторов позволяют им приспособиться к использованию компонентов материалов в качестве источника питания. Большой интерес представляют исследования, связанные с выделением высокоактивных ферментов, кислот и других метаболитов, синтезируемых подобными штаммами. Одной из наиболее важных задач в области предотвращения биоповреждений являются подбор биоцидных препаратов и исследование их

эффективности. Проводятся научно-исследовательские работы, посвященные поиску новых препаратов и соединений, подавляющих рост и развитие микроорганизмов-деструкторов. Особое внимание уделяется проблеме резистентности микроорганизмов к химическим соединениям. В этом контексте актуальны исследования генетических механизмов возникновения устойчивости, мониторинговые исследования в разных странах и др.

Список источников

1. Лаптев А.Б., Полтаруха О.П., Кривушина А.А., Старцев В.О., Антипов В.В. Биоповреждение полимеров: учеб. пособие. М.: НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ, 2024. 456 с.
2. Каблов Е.Н., Лаптев А.Б., Прокопенко А.Н., Гуляев А.И. Релаксация полимерных композиционных материалов под длительным действием статической нагрузки и климата (обзор). Часть 1. Связующие // Авиационные материалы и технологии. 2021. № 4 (65). С. 70–80. URL: <http://www.journal.viam.ru> (дата обращения: 20.10.2025). DOI: 10.18577/2713-0193-2021-0-4-70-80.
3. Закирова Л.И., Афанасьев-Ходыкин А.Н., Мовенко Д.А., Лаптев А.Б. Особенности формирования диффузионного слоя Sn–Zn–Fe на границе гальванотермического покрытия системы цинк–олово и стали 30ХГСА с высокой защитной способностью // Авиационные материалы и технологии. 2022. № 4 (69). С. 61–71. URL: <http://www.journal.viam.ru> (дата обращения: 29.10.2025). DOI: 10.18577/2713-0193-2022-0-4-61-71.
4. Старцев В.О., Старцев О.В., Зеленева Т.О., Варданян А.М. Влияние осадков на изменение массы образцов полимерных композиционных материалов в открытых климатических условиях // Авиационные материалы и технологии. 2024. № 1 (74). С. 136–154. URL: <http://www.journal.viam.ru> (дата обращения: 20.10.2025). DOI: 10.18577/2713-0193-2024-0-1-136-154.
5. Krivushina A.A., Bobyrev T.V., Mokeeva V.L. Growth Ability of «Kerosene Fungus» *Amorphotheca resinae* Strains Isolated from Different Habitats in Aviation Fuel // Biology Bulletin Reviews. 2023. Vol. 1. No. 1. P. 93–98. DOI: 10.1134/S2079086423070095.
6. Ребрикова Н.Л. Исследование произведений искусства, поврежденных или предположительно поврежденных микроскопическими грибами, разными методами: культуральными, молекулярно-генетическими, биоллюминесцентным. Новые данные // Современная микология в России: материалы V Съезда микологов России. М.: Национальная академия микологии, 2022. Т. 9. С. 358–359.
7. Сазанова К.В., Зеленская М.С., Бобир С.Ю., Шаварда А.Л., Власов Д.Ю. Грибы в поверхностных наслоениях на памятниках из камня в Санкт-Петербурге // Современная микология в России: материалы V Съезда микологов России. М.: Национальная академия микологии, 2022. Т. 9. С. 360.
8. Sazanov K.V., Zelenskaya M.S., Pavlov O.A., Vlasov D.Y. The Peculiarities of the Mycobiota Formation on the Saint Petersburg Stone Monuments Based on Metagenomics and Cultural Data // Микология и фитопатология. 2023. Т. 57. № 5. С. 321–331. DOI: 10.31857/S0026364823050070.
9. Яковлева Г., Данилаев М., Ли Х.К., Курди У., Ильинская О. Микромицеты – деструкторы полисилоксанов // Современная микология в России: материалы V Съезда микологов России. М.: Национальная академия микологии, 2022. Т. 9. С. 369.
10. Popikhina E.A., Terova E.S., Velikova T.D., Khazova S.S. Mycobiota of the Library's Books in Russia // Микология и фитопатология. 2023. Т. 57. № 4. С. 267–280. DOI: 10.31857/S0026364823040098.
11. Элоян И.М., Погосян А.В., Адамян Р.Г., Нанагюлян С.Г. Биодеструктивная деятельность микромицетов жилых помещений города Чаренцаван (Республика Армения) // Современная микология в России: материалы V Съезда микологов России. М.: Национальная академия микологии, 2022. Т. 9. С. 343.

12. Надеева Г.В., Ионова Н.Э. Оценка микологического состояния помещений хранения документов национального архива Республики Татарстан // Современная микология в России: материалы V Съезда микологов России. М.: Национальная академия микологии, 2022. Т. 9. С. 351–352.
13. Тригубович А.М., Гончарова И.А. Микологический анализ пылевидных налетов на архивных документах и средствах архивного хранения // Современная микология в России: материалы V Съезда микологов России. М.: Национальная академия микологии, 2022. Т. 9. С. 363–365.
14. Москалев А.В. Грибы-биодеструкторы различных материалов // Современная микология в России: материалы V Съезда микологов России. М.: Национальная академия микологии, 2022. Т. 9. С. 350.
15. Жгун А.А., Потапов М.П., Авданина Д.А. и др. Биотрансформация стероидов грибами-деструкторами темперной живописи, изолированными в Государственной Третьяковской галерее // Современная микология в России: материалы V Съезда микологов России. М.: Национальная академия микологии, 2022. Т. 9. С. 370.
16. Понизовская В.Б., Антропова А.Б., Биланенко Е.Н. и др. Микромицеты штукатурки и белого камня в интерьерах памятников культуры // Современная микология в России: материалы V Съезда микологов России. М.: Национальная академия микологии, 2022. Т. 9. С. 354–356.
17. Никитин Д.А., Садыкова В.С., Куварина А.Е. и др. Ферментативная и антимикробная активность полярных штаммов почвенных микроскопических грибов // Микология и фитопатология. 2021. Т. 55. № 1. С. 36–50. DOI: 10.31857/S0026364821010086.
18. Кононенко Г.П., Пирязева Е.А., Зотова Е.В., Буркин А.А. Хемо- и фенотипы потенциально токсигенного гриба *Aspergillus flavus* // Микология и фитопатология. 2022. Т. 56. № 4. С. 276–282. DOI: 10.31857/S0026364822040055.
19. Lavrenova V.N., Osmolovskiy A.A. *Aspergillus tabacinus* as a producer of antithrombotic proteases // Микология и фитопатология. 2024. Т. 58. № 1. С. 19–26. DOI: 10.31857/S0026364824010022.
20. Osmolovskiy A.A., Klyagin S.D., Vashkevich T.V. et al. Fibrin- and fibrinogenolytic effect of extracellular proteinases of microfungi *Aspergillus alliaceus* 7dN1 and *A. terreus* 2 // Микология и фитопатология. 2023. Т. 57. № 4. С. 298–300. DOI: 10.31857/S0026364823040086.
21. Карпов В.А., Смирнов В.Ф., Смирнова О.Н. и др. Действие биоцидов на активность ряда экстрацеллюлярных ферментов грибов-деструкторов технических изделий, эксплуатируемых в условиях тропического климата (Вьетнам) // Микология и фитопатология. 2022. Т. 56. № 3. С. 185–193. DOI: 10.31857/S0026364822030047.
22. Sazanov K.V., Ponizovskaya V.B. Metabolites Profile of Micromycete *Lecanicillium gracile* Isolated from Limestone and Plaster // Микология и фитопатология. 2022. Т. 56. № 5. С. 357–365. DOI: 10.31857/S0026364822050099.
23. Горшков В.Ю., Мещеров А.Р., Ветчинкина Е.П. Ферменты лигнинолитического комплекса фитопатогена *Microdochium nivale* // Современная микология в России: материалы V Съезда микологов России. М.: Национальная академия микологии, 2022. Т. 9. С. 366–368.
24. Миндубаев А.З., Бабынин Э.В., Минзанова С.Т. Новый объект биодеструкции: белый фосфор // Современная микология в России: материалы V Съезда микологов России. М.: Национальная академия микологии, 2022. Т. 9. С. 349.
25. Mindubaev A.Z., Babynin E.V., Babaev V.M. et al. *Aspergillus niger* AM1 strain as causative agent for oil and petroleum products biodegradation // Микология и фитопатология. 2024. Т. 58. № 1. С. 27–35. DOI: 10.31857/S0026364824010037.
26. Sazanov K.V., Zelenskaya M.S., Korneev A.V., Vlasov D.Y. Extracellular Zn Detoxication by *Penicillium chrysogenum* and *Aspergillus niger* // Микология и фитопатология. 2023. Т. 57. № 6. С. 425–434. DOI: 10.31857/S0026364823060089.
27. Medvedeva N.G., Kuzikova I.L. Sorption and Biodestruction of Microcystin-LR by *Penicillium verrucosum* CP4 Strain Isolated from the Bottom Sediments of Sestroretsky Razliv Lake // Микология и фитопатология. 2023. Т. 57. № 4. С. 291–297. DOI: 10.31857/S0026364823040062.

28. Kuzikova I.L., Medvedeva N.G. Long-Chain Alkylphenols Biodegradation Potential of the Soil Ascomycota // Микология и фитопатология. 2023. Т. 57. № 1. С. 33–41. DOI: 10.31857/S0026364823010087.
29. Полянская А.С., Пучкова Т.А. Влияние условий культивирования на рост мицелия гриба *Serpula lacrymans* // Современная микология в России: материалы V Съезда микологов России. М.: Национальная академия микологии, 2022. Т. 9. С. 353.
30. Anikina N.A., Shirokov Y.L., Smirnova O.N. et al. The influence of submicron particles of photocatalytically active heavy metal oxides on the content of organic acids in the cultivation medium of filamentous biodestructors fungi // Микология и фитопатология. 2025. Т. 59. № 1. С. 45–54. DOI: 10.31857/S0026364825010068.
31. Иванушкина Н.Е., Голубев Н.В., Игнатъева Е.С., Голубев В.И. Стойкость к грибной коррозии Ga₂O₃-содержащего стекла и стеклокерамики на его основе // Современная микология в России: материалы V Съезда микологов России. М.: Национальная академия микологии, 2022. Т. 9. С. 346.
32. Тертышная Ю.В., Годяева М.М., Попов А.А. Биодеструкция полимерных волокнистых материалов под действием плесневых грибов // Современная микология в России: материалы V Съезда микологов России. М.: Национальная академия микологии, 2022. Т. 9. С. 361–362.
33. Кривушина А.А., Лаптев А.Б. Фунгициды: применение, свойства и принципы действия // Авиационные материалы и технологии. 2024. № 1 (74). С. 155–168. URL: <http://www.journal.viam.ru> (дата обращения: 20.07.2025). DOI: 10.18577/2713-0193-2024-0-1-155-168.
34. Прудникова С.В., Стрельцова Н.В. Фунгицидные препараты, депонированные в биоразрушаемую полимерную основу, для борьбы с фитопатогенами сельскохозяйственных культур // Современная микология в России: материалы V Съезда микологов России. М.: Национальная академия микологии, 2022. Т. 9. С. 357.
35. Огарков Б.Н., Буковская Н.Е., Огаркова Г.Р., Самусенок Л.В. О специфичности действия биоцидов на микроорганизмы, вызывающие биоповреждения пористых строительных материалов // Известия Иркутского государственного университета. Сер.: Биология. Экология. 2013. Т. 6. № 2. С. 144–152.
36. Ермолюк А.А., Авданина Д.А., Хайрова А.Ш. и др. Исследование фунгицидных свойств низкомолекулярного хитозана из *Hermetia illucens* для защиты объектов культурного наследия в Государственной Третьяковской галерее // Современная микология в России: материалы V Съезда микологов России. М.: Национальная академия микологии, 2022. Т. 9. С. 344–345.
37. Zubko N.G., Zeleneva Y.V., Konkova E.A. et al. Peculiarities of Emergence, Development and Genetic Mechanisms of Resistance Manifestation Towards Fungicides from the Chemical Classes of Triazoles and Strobilurins Among the Representatives of *Zymoseptoria tritici* (A Review) // Микология и фитопатология. 2024. Т. 58. № 6. С. 423–434. DOI: 10.31857/S0026364824060011.

References

1. Laptev A.B., Poltarukha O.P., Krivushina A.A., Startsev V.O., Antipov V.V. *Biodamage of polymers: textbook. allowance*. Moscow: NRC «Kurchatov Institute» – VIAM, 2024, 456 p.
2. Kablov E.N., Laptev A.B., Prokopenko A.N., Gulyaev A.I. Relaxation of polymeric composite materials under the prolonged action of static load and climate (review). Part 1. Binders. *Aviation materials and technologies*, 2021, no. 4 (65), pp. 70–80. Available at: <http://www.journal.viam.ru> (accessed: October 20, 2025). DOI: 10.18577/2713-0193-2021-0-4-70-80.
3. Zakirova L.I., Afanasyev-Khodykin A.N., Movenko D.A., Laptev A.B. Features of the formation of the Sn–Zn–Fe diffusion layer at the boundary of galvanothermal coating of systems zinc–tin and 30HGSА steel with high protective capability. *Aviation materials and technologies*, 2022, no. 4 (69), pp. 61–71. Available at: <http://www.journal.viam.ru> (accessed: October 29, 2025). DOI: 10.18577/2713-0193-2022-0-4-61-71.

4. Startsev V.O., Startsev O.V., Zeleneva T.O., Vardanyan A.M. Influence of precipitation on changes in the mass of samples of polymeric composite materials in open climatic conditions. *Aviation materials and technologies*, 2024, no. 1 (74), pp.136–154. Available at: <http://www.journal.viam.ru> (accessed: October 20, 2025). DOI: 10.18577/2713-0193-2024-0-1-136-154.
5. Krivushina A.A., Bobyreva T.V., Mokeeva V.L. Growth Ability of «Kerosene Fungus» *Amorphotheca resinae* Strains Isolated from Different Habitats in Aviation Fuel. *Biology Bulletin Reviews*, 2023, vol. 1, no. 1, pp. 93–98. DOI: 10.1134/S2079086423070095.
6. Rebrikova N.L. Study of works of art damaged or suspected of being damaged by microscopic fungi using different methods: cultural, molecular genetic, and bioluminescent. New data. *Modern mycology in Russia: Proceedings of the V Congress of Russian Mycologists*. Moscow: National Academy of Mycology, 2022, vol. 9, pp. 358–359.
7. Sazanov K.V., Zelenskaya M.S., Bobir S.Yu., Shavarda A.L., Vlasov D.Yu. Fungi in surface layers on stone monuments in St. Petersburg. *Modern mycology in Russia: Proceedings of the V Congress of Russian Mycologists*. Moscow: National Academy of Mycology, 2022, vol. 9, p. 360.
8. Sazanov K.V., Zelenskaya M.S., Pavlov O.A., Vlasov D.Y. The Peculiarities of the Mycobiota Formation on the Saint Petersburg Stone Monuments Based on Metagenomics and Cultural Data. *Mikologiya i fitopatologiya*, 2023, vol. 57, no. 5, pp. 321–331. DOI: 10.31857/S0026364823050070.
9. Yakovleva G., Danilaev M., Li H.K., Kurdi U., Ilyinskaya O. Micromycetes – destructors of polysiloxanes. *Modern mycology in Russia: Proceedings of the V Congress of Mycologists of Russia*. Moscow: National Academy of Mycology, 2022, vol. 9, p. 369.
10. Popikhina E.A., Trepova E.S., Velikova T.D., Khazova S.S. Mycobiota of the Library's Books in Russia. *Mikologiya i fitopatologiya*, 2023, vol. 57, no. 4, pp. 267–280. DOI: 10.31857/S0026364823040098.
11. Eloyan I.M., Pogosyan A.V., Adamyan R.G., Nanagyulyan S.G. Biodestructive activity of micromycetes in residential premises of the city of Charentsavan (Republic of Armenia). *Modern mycology in Russia: Proceedings of the V Congress of Mycologists of Russia*. Moscow: National Academy of Mycology, 2022, vol. 9, p. 343.
12. Nadeeva G.V., Ionova N.E. Assessment of the mycological state of the document storage premises of the National Archives of the Republic of Tatarstan. *Modern mycology in Russia: Proceedings of the V Congress of Mycologists of Russia*. Moscow: National Academy of Mycology, 2022, vol. 9, pp. 351–352.
13. Trigubovich A.M., Goncharova I.A. Mycological analysis of dust deposits on archival documents and archival storage media. *Modern mycology in Russia: Proceedings of the V Congress of Mycologists of Russia*. Moscow: National Academy of Mycology, 2022, vol. 9, pp. 363–365.
14. Moskal'ev A.V. Fungi-bi destructors of various materials. *Modern mycology in Russia: Proceedings of the V Congress of Mycologists of Russia*. Moscow: National Academy of Mycology, 2022, vol. 9, p. 350.
15. Zhgun A.A., Potapov M.P., Avdanina D.A. et al. Biotransformation of steroids by fungi-destructors of tempera paintings isolated in the State Tretyakov Gallery. *Modern mycology in Russia: Proceedings of the V Congress of Mycologists of Russia*. Moscow: National Academy of Mycology, 2022, vol. 9, p. 370.
16. Ponizovskaya V.B., Antropova A.B., Bilanenko E.N. et al. Micromycetes of plaster and white stone in the interiors of cultural monuments. *Modern mycology in Russia: Proceedings of the V Congress of Mycologists of Russia*. Moscow: National Academy of Mycology, 2022, vol. 9, pp. 354–356.
17. Nikitin D.A., Sadykova V.S., Kuvarina A.E. et al. Enzymatic and antimicrobial activity of polar strains of soil microscopic fungi. *Mikologiya i fitopatologiya*, 2021, vol. 55, no. 1, pp. 36–50. DOI: 10.31857/S0026364821010086.
18. Kononenko G.P., Piryazeva E.A., Zotova E.V., Burkin A.A. Chemo- and phenotypes of the potentially toxigenic fungus *Aspergillus flavus*. *Mikologiya i fitopatologiya*, 2022, vol. 56, no. 4, pp. 276–282. DOI: 10.31857/S0026364822040055.

19. Lavrenova V.N., Osmolovskiy A.A. *Aspergillus tabacinus* as a producer of antithrombotic proteases. *Mikologiya i fitopatologiya*, 2024, vol. 58, no. 1, pp. 19–26. DOI: 10.31857/S0026364824010022.
20. Osmolovskiy A.A., Klyagin S.D., Vashkevich T.V. et al. Fibrin- and fibrinogenolytic effect of extracellular proteinases of microfungi *Aspergillus alliaceus* 7dN1 and *A. terreus* 2. *Mikologiya i fitopatologiya*, 2023, vol. 57, no. 4, pp. 298–300. DOI: 10.31857/S0026364823040086.
21. Karpov V.A., Smirnov V.F., Smirnova O.N. et al. The effect of biocides on the activity of a number of extracellular enzymes of fungi-destructors of technical products operated in tropical climates (Vietnam). *Mikologiya i fitopatologiya*, 2022, vol. 56, no. 3, pp. 185–193. DOI: 10.31857/S0026364822030047.
22. Sazanova K.V., Ponizovskaya V.B. Metabolites Profile of Micromycete *Lecanicillium gracile* Isolated from Limestone and Plaster. *Mikologiya i fitopatologiya*, 2022, vol. 56, no. 5, pp. 357–365. DOI: 10.31857/S0026364822050099.
23. Gorshkov V.Yu., Meshcherov A.R., Vetchinkina E.P. Enzymes of the ligninolytic complex of the phytopathogen *Microdochium nivale*. *Modern mycology in Russia: materials of the V Congress of Russian Mycologists*. Moscow: National Academy of Mycology, 2022, vol. 9, pp. 366–368.
24. Mindubaev A.Z., Babynin E.V., Minzanova S.T. New object of biodestruction: white phosphorus. *Modern mycology in Russia: materials of the V Congress of Mycologists of Russia*. Moscow: National Academy of Mycology, 2022, vol. 9, p. 349.
25. Mindubaev A.Z., Babynin E.V., Babaev V.M. et al. *Aspergillus niger* AM1 strain as causative agent for oil and petroleum products biodegradation. *Mikologiya i fitopatologiya*, 2024, vol. 58, no. 1, pp. 27–35. DOI: 10.31857/S0026364824010037.
26. Sazanova K.V., Zelenskaya M.S., Korneev A.V., Vlasov D.Y. Extracellular Zn Detoxication by *Penicillium chrysogenum* and *Aspergillus niger*. *Mikologiya i fitopatologiya*, 2023, vol. 57, no. 6, pp. 425–434. DOI: 10.31857/S0026364823060089.
27. Medvedeva N.G., Kuzikova I.L. Sorption and Biodestruction of Microcystin-LR by *Penicillium verrucosum* CP4 Strain Isolated from the Bottom Sediments of Sestroretsky Razliv Lake. *Mikologiya i fitopatologiya*, 2023, vol. 57, no. 4, pp. 291–297. DOI: 10.31857/S0026364823040062.
28. Kuzikova I.L., Medvedeva N.G. Long-Chain Alkylphenols Biodegradation Potential of the Soil Ascomycota. *Mikologiya i fitopatologiya*, 2023, vol. 57, no. 1, pp. 33–41. DOI: 10.31857/S0026364823010087.
29. Polyanskaya A.S., Puchkova T.A. The influence of cultivation conditions on the mycelial growth of the fungus *Serpula lacrymans*. *Modern mycology in Russia: Proceedings of the V Congress of Mycologists of Russia*. Moscow: National Academy of Mycology, 2022, vol. 9, p. 353.
30. Anikina N.A., Shirokov Y.L., Smirnova O.N. et al. The influence of submicron particles of photocatalytically active heavy metal oxides on the content of organic acids in the cultivation medium of filamentous biodestructors fungi. *Mikologiya i fitopatologiya*, 2025, vol. 59, no. 1, pp. 45–54. DOI: 10.31857/S0026364825010068.
31. Ivanushkina N.E., Golubev N.V., Ignatyeva E.S., Golubev V.I. Resistance to fungal corrosion of Ga₂O₃-containing glass and glass-ceramics based on it. *Modern mycology in Russia: Proceedings of the V Congress of Mycologists of Russia*. Moscow: National Academy of Mycology, 2022, vol. 9, p. 346.
32. Tertyshnaya Yu.V., Godyaeva M.M., Popov A.A. Biodegradation of polymer fibrous materials under the action of mold fungi. *Modern mycology in Russia: Proceedings of the V Congress of Mycologists of Russia*. Moscow: National Academy of Mycology, 2022, vol. 9, pp. 361–362.
33. Krivushina A.A., Laptev A.B. Fungicides: application, properties and principles of action. *Aviation materials and technologies*, 2024, no. 1 (74), pp. 155–168. Available at: <http://www.journal.viam.ru> (accessed: July 20, 2025). DOI: 10.18577/2713-0193-2024-0-1-155-168.
34. Prudnikova S.V., Streltsova N.V. Fungicidal preparations deposited in a biodegradable polymer base for the control of phytopathogens of agricultural crops. *Modern mycology in Russia: Proceedings of the V Congress of mycologists of Russia*. Moscow: National Academy of Mycology, 2022, vol. 9, p. 357.

35. Ogarkov B.N., Bukovskaya N.E., Ogarkova G.R., Samusenok L.V. On the specificity of the action of biocides on microorganisms causing biodeterioration of porous building materials. *Izvestiya Irkutskogo gosudarstvennogo universiteta. Ser.: Biologiya. Ekologiya*, 2013, vol. 6, no. 2, pp. 144–152.
36. Ermolyuk A.A., Avdanina D.A., Khairova A.Sh. et al. Study of fungicidal properties of low molecular weight chitosan from *Hermetia illucens* for the protection of cultural heritage sites in the State Tretyakov Gallery. *Modern mycology in Russia: Proceedings of the V Congress of Mycologists of Russia*. Moscow: National Academy of Mycology, 2022, vol. 9, pp. 344–345.
37. Zubko N.G., Zeleneva Y.V., Konkova E.A. et al. Peculiarities of Emergence, Development and Genetic Mechanisms of Resistance Manifestation Towards Fungicides from the Chemical Classes of Triazoles and Strobilurins Among the Representatives of *Zymoseptoria tritici* (A Review). *Mikologiya i fitopatologiya*, 2024, vol. 58, no. 6, pp. 423–434. DOI: 10.31857/S0026364824060011.

Информация об авторах

Кривушина Анастасия Александровна, старший научный сотрудник, к.б.н., НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ, admin@viam.ru

Мосунова Дарья Николаевна, начальник сектора, НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ, admin@viam.ru

Горяшник Юлия Сергеевна, ведущий инженер, НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ, admin@viam.ru

Яковенко Татьяна Владимировна, инженер, НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ, admin@viam.ru

Information about the authors

Anastasia A. Krivushina, Senior Researcher, Candidate of Sciences (Bio.), NRC «Kurchatov Institute» – VIAM, admin@viam.ru

Darya N. Mosunova, Head of Sector, NRC «Kurchatov Institute» – VIAM, admin@viam.ru

Yulia S. Goryashnik, Leading Engineer, NRC «Kurchatov Institute» – VIAM, admin@viam.ru

Tatiana V. Iakovenko, Engineer, NRC «Kurchatov Institute» – VIAM, admin@viam.ru

Статья поступила в редакцию 09.04.2026; одобрена и принята к публикации после рецензирования 16.04.2026.
The article was submitted 09.04.2026; approved and accepted for publication after reviewing 16.04.2026.