

Научная статья

УДК 620.1:629.7.023.222

DOI: 10.18577/2307-6046-2023-0-6-130-141

ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ЛАКОКРАСОЧНЫХ ПОКРЫТИЙ ПОСЛЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ МИКРОМИЦЕТОВ УМЕРЕННОГО И УМЕРЕННО ТЕПЛОГО КЛИМАТА

В.В. Антипов¹, А.А. Кривушина¹, В.О. Старцев¹, А.М. Коган¹

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

Аннотация. Исследованы свойства лакокрасочных покрытий под воздействием стандартных тест-культур и микроскопических грибов, выделенных в естественных условиях умеренного (г. Москва) и умеренно теплого климата (г. Геленджик). Выявлены изменения декоративных свойств покрытий ВЭ-69 и ЭП-140 после воздействия отдельных штаммов микромицетов. Показано, что изменение цвета покрытий ВЭ-69 и ЭП-140 с красным пигментом больше, чем для покрытий аналогичных эмалей с серым пигментом. Исследование адгезионных свойств не выявило каких-либо изменений на всех образцах как после стандартных испытаний с тест-культурами по ГОСТ 9.049–91, так и после длительного (45 и 90 сут) воздействия монокультур микромицетов, выделенных в условиях умеренного и умеренно теплого климата.

Ключевые слова: биоповреждения, лакокрасочные покрытия, микроорганизмы-деструкторы, микробиологическая стойкость, микробиологические повреждения, микромицеты, полимерные материалы, эмали

Для цитирования: Антипов В.В., Кривушина А.А., Старцев В.О., Коган А.М. Исследование свойств лакокрасочных покрытий после воздействия микромицетов умеренного и умеренно теплого климата // Труды ВИАМ. 2023. № 6 (124). Ст. 11. URL: <http://www.viam-works.ru>. DOI: 10.18577/2307-6046-2023-0-6-130-141.

Scientific article

STUDY OF THE PAINT COATINGS PROPERTIES AFTER IMPACT OF MICROMYCETES IN A MODERATE AND MODERATE WARM CLIMATE

V.V. Antipov¹, A.A. Krivushina¹, V.O. Startsev¹, A.M. Kogan¹

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 properties of paint coatings under the influence of standard test cultures and microscopic fungi isolated under natural conditions of a temperate (Moscow) and moderately warm climate (Gelendzhik) were studied. Changes in the decorative properties of coatings VE-69 and EP-140 after exposure to individual strains of micromycetes were revealed. It is shown that the color change of VE-69 and EP-140 coatings with red pigment is higher than for coatings of similar enamels with gray pigment. The study of adhesive properties did not reveal any changes on all samples, both after standard tests with test cultures according to GOST 9.049–91, and after long-term (45 and 90 days) exposure to monocultures of micromycetes isolated in temperate and moderately warm climates.

Keywords: biodeterioration, paint coatings, degrading microorganisms, microbiological resistance, microbiological damage, micromycetes, polymeric materials, enamels

For citation: Antipov V.V., Krivushina A.A., Startsev V.O., Kogan A.M. Study of the paint coatings properties after impact of micromycetes in a moderate and moderate warm climate. *Trudy VIAM*, 2023, no. 6 (124), paper no. 11. Available at: <http://www.viam-works.ru>. DOI: 10.18577/2307-6046-2023-0-6-130-141.

Введение

Лакокрасочные покрытия, как и все другие типы материалов, подвержены воздействию микроорганизмов в процессе хранения и эксплуатации. Биоповреждения различных лакокрасочных покрытий выявляются довольно часто, причем в разных климатических зонах. Причиной микробиологических повреждений является рост на поверхности материалов различных микроорганизмов, обитающих повсеместно – в частности, микроскопических грибов и бактерий. Микробиологические повреждения покрытий легко различить визуально, обычно они проявляются в виде пятен или налетов различной окраски, которые представляют собой колонии микроорганизмов. В случае более интенсивного развития микроорганизмов на поверхности лакокрасочных покрытий можно наблюдать образование бугров, трещин, отверстий и других негативных проявлений, которые ухудшают декоративные свойства покрытий и изделий с их применением [1, 2].

В большинстве случаев повреждающее воздействие жизнедеятельности микроорганизмов сочетается и с другими факторами внешней среды. К таким факторам относятся воздействия ультрафиолетового излучения, температуры, атмосферной влаги и т. п. В последние годы ведутся исследования и развиваются новые методы изучения воздействия климатических факторов [3, 4] и коррозии [5, 6] различных типов материалов, в том числе лакокрасочных покрытий [7–10]. Наряду с изучением воздействия факторов старения на лакокрасочные материалы ведутся исследования деструктивной способности новых штаммов микроорганизмов [11–19].

Цель данной работы – изучение воздействия микроскопических грибов (микромикетов), выделенных в условиях умеренного и умеренно теплого климата, на декоративные свойства лакокрасочных покрытий в лабораторных условиях.

Материалы и методы

Исследования проводили на образцах четырех типов лакокрасочных покрытий на основе эмалей ЭП-140 и ВЭ-69 с серым и красным пигментами. Данные марки покрытий пользуются большим спросом на предприятиях авиационной отрасли, поэтому важно знать ресурс их работы при условии влияния различных факторов среды, в том числе воздействия микроорганизмов-деструкторов. В работе исследована грибостойкость четырех типов покрытий по трем методам ГОСТ 9.049–91 с применением стандартных тест-культур: *Aspergillus niger*, *Aspergillus terreus*, *Aspergillus oryzae*, *Chaetomium globosum*, *Paecilomyces varioti*, *Penicillium funiculosuin*, *Penicillium chrysogenum*, *Penicillium cyclopium*, *Trichoderma viride*.

В исследованиях использованы все три метода, приведенные в стандарте, отличающиеся способом приготовления суспензий спор стандартных культур микромикетов. В первом методе образцы инокулировали водной суспензией спор грибов, во втором – в растворе минеральных солей, в третьем – в растворе минеральных солей с добавлением сахарозы. На образцы эмалей равномерно по всей поверхности наносили суспензию спор микроскопических грибов с помощью пульверизатора. Контрольные образцы не инокулировали суспензией спор грибов. Обработанные и контрольные образцы эмалей перемещали в климатические камеры с заданной температурой и влажностью. В камерах образцы находились при температуре 29 ± 2 °С и относительной влажности воздуха >90 % в течение всего срока испытаний. По завершении испытаний образцы извлекали из камеры, проводили осмотр невооруженным глазом и при увеличении $\times 50$, далее оценивали грибостойкость по интенсивности роста грибов на поверхности эмалей по шестибальной шкале ГОСТ 9.048–89.

Исследование свойств лакокрасочных покрытий под воздействием отдельных культур выделенных микромикетов проводили двумя методами, основанными на методе 3 по ГОСТ 9.049–91. В первом случае образцы помещали в чашки Петри на

подложку из испытательной среды с агаром и инокулировали водной суспензией спор каждого штамма гриба в отдельности, далее чашки запечатывали парафильмом и инкубировали при температуре 28 ± 2 °С и длительности испытания 1,5 мес. Во втором случае образцы помещали на агаризованную среду с добавлением сусла и инокулировали суспензией спор тех же монокультур, но с добавлением сахарозы и минеральных солей; длительность испытаний составила 3 мес. После испытаний на воздействие микромицетов проводили оценку свойств лакокрасочных покрытий в соответствии со стандартными методиками, принятыми в лакокрасочной промышленности:

- определение цветового различия по ГОСТ Р 52490–2005;
- определение блеска покрытий по ГОСТ 31975–2013.

Работа выполнена с использованием оборудования ЦКП «Климатические испытания» НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ.

Результаты и обсуждение

На первом этапе работы исследована грибостойкость четырех типов покрытий по трем методам ГОСТ 9.049–91 с применением стандартных тест-культур. Образцы эмалей после испытаний оценивали согласно шестибальной шкале по ГОСТ 9.048–89.

Результат осмотра образца	Грибостойкость, балл
При микроскопировании:	
– не найдено проросших спор и конидий	0
– обнаружены проросшие споры и слабо развитый мицелий	1
– найден довольно развитый мицелий или спороношение	2
– отчетливо видны мицелий и (или) спороношение, невидимые невооруженным глазом	3
При осмотре невооруженным глазом отчетливо видно развитие грибов, при этом поверхность образца покрыта мицелием:	
– на <25 %	4
– на >25 %	5

Показано, что все испытанные по методу 1 (ГОСТ 9.049–91) лакокрасочные покрытия являются грибостойкими – наименьший рост микромицетов (0–1 балл) отмечен на образцах с эмалью ВЭ-69. При испытаниях по методам 2 и 3 (с добавлением питательных элементов для грибов) отмечен активный рост микромицетов (5 баллов) на всех испытанных покрытиях, что свидетельствует об отсутствии фунгицидных и фунгистатических свойств данных материалов. Исследование адгезионных свойств покрытий ВЭ-69 и ЭП-140 после 28 сут испытаний на грибостойкость не выявило каких-либо изменений на всех образцах.

На втором этапе работы выделены микромицеты, контаминирующие образцы материалов в естественных условиях умеренного (г. Москва) и умеренно теплого климата (г. Геленджик). С поверхности материалов взяты мазки в местах с признаками микробиологического повреждения после экспозиции на климатических площадках в МЦКИ им. Г.В. Акимова (г. Москва) и ГЦКИ им. Г.В. Акимова (г. Геленджик). В лаборатории проведено выделение штаммов грибов на стандартных питательных средах: Чапека и агаризованном сусле. В условиях умеренного климата выделено пять штаммов микромицетов, среди которых четыре вида рода *Aspergillus*, в том числе такие известные деструкторы, как *Aspergillus flavus*, *Aspergillus niger* и *Aspergillus terreus*. В условиях умеренно теплого климата выделено шесть штаммов микромицетов. Полный список выделенных микромицетов приведен в таблице.

Род *Purpureocillium* включает в себя пять видов и встречается в различных местах обитания, включая почву, леса, пастбища, пустыни, эстуарные отложения и сточные воды; виды рода отмечены как паразиты насекомых. Грибы этого рода могут расти в широком диапазоне температур – от 8 до 38 °С, также обладают довольно широкой устойчивостью к рН среды и могут расти на различных субстратах.

**Список видов микромицетов, выделенных с поверхности материалов
в условиях умеренного (г. Москва) и умеренно теплого климата (г. Геленджик)**

Место выделения	Условный номер штамма	Вид гриба
Москва	viam193	<i>Purpureocillium takamizusanense</i>
	viam194	<i>Aspergillus flavus</i>
	viam195	<i>Aspergillus niger</i>
	viam196	<i>Aspergillus terreus</i>
	viam197	<i>Aspergillus puulaauensis</i>
Геленджик	viam138	<i>Alternaria alternata</i>
	viam139	<i>Arthriniium phaeospermum</i>
	viam144	<i>Fusarium oxysporum</i>
	viam142	<i>Penicillium oxalicum</i>
	viam143	<i>Talaromyces rugulosus</i>
	viam144	<i>Penicillium rugulosum</i>

Alternaria alternata – широко распространенный сапротрофный вид грибов, отмеченный на листьях и других частях многих растений, на растительных остатках, в почве, на продуктах питания и на многих других субстратах. Используемые грибом источники углерода включают мальтозу, сахарозу, раффинозу и D-галактозу. Гриб утилизирует крахмал, ксилан и пектин, а также отмечена его способность разлагать целлюлозу. На полимерных материалах, экспонируемых и эксплуатируемых в условиях средней полосы, отмечен неоднократно. В естественных условиях такой грибок повреждает широкий круг материалов: полиэтилен, капроновые изделия, органическое стекло, поливинилхлоридные пленки и др.

Микромицеты вида *Fusarium oxysporum* неоднократно отмечены на полимерных материалах различного химического состава и вызывают их деструкционные процессы. Оптимальная температура роста таких грибов составляет ~24 °С, минимальная 6 °С, максимальная ~37 °С [20].

Микромицеты вида *Penicillium oxalicum* и *Penicillium rugulosum* также довольно часто встречаются на полимерных материалах в разных экологических условиях, обладают большими способностями адаптироваться к разным субстратам. Оптимальная температура их роста составляет ~28 °С, минимальная ~4 °С, максимальная ~40 °С. Вид *Talaromyces rugulosus* ранее был включен в состав рода *Penicillium* и относился к предыдущему виду – *Penicillium rugulosum*.

По итогам испытаний по двум методам на основе метода 3 (ГОСТ 9.049–91) отмечен активный рост микромицетов (4–5 баллов по шкале ГОСТ 9.048–89) на всех испытанных покрытиях. Исследование адгезионных свойств покрытий ВЭ-69 и ЭП-140 после 1,5 и 3 мес воздействия активного роста микромицетов не выявило каких-либо изменений на всех образцах.

Изменение цвета исследованных марок лакокрасочных покрытий после воздействия монокультур грибов приведено на диаграммах (рис. 1–8). Наибольшее цветовое различие (ΔE) после испытаний по методу 2 наблюдается у эмали ВЭ-69 красного цвета со средним значением 11,15 усл. ед., минимальное – у эмали ВЭ-69 серого цвета со средним значением 0,16 усл. ед. Наибольшие изменения цвета лакокрасочного покрытия ВЭ-69 с красным пигментом отмечено после воздействия штамма viam138 *Alternaria alternata* при испытаниях по методу 1 и после воздействия двух штаммов viam193 *Purpureocillium takamizusanense* и viam142 *Penicillium oxalicum* при испытаниях по методу 2. Наибольшие изменения цвета лакокрасочного покрытия ВЭ-69 с серым пигментом отмечено после воздействия штаммов viam139 *Arthriniium phaeospermum* и viam196 *Aspergillus terreus* при испытаниях по методу 1 и после воздействия штамма viam142 *Penicillium oxalicum* при испытаниях по методу 2. У эмали ЭП-140 с красным пигментом по методу 1 нет существенных различий в изменении цвета после воздействия монокультур микромицетов, по методу 2

наибольшие различия отмечены после воздействия штаммов *viam142 Penicillium oxalicum* и *viam195 Aspergillus niger*. Наибольшие изменения цвета лакокрасочного покрытия ЭП-140 с серым пигментом отмечено после воздействия штаммов *viam143 Talaromyces rugulosus* и *viam196 Aspergillus terreus* при испытаниях по методу 1 и после воздействия штамма *viam142 Penicillium oxalicum* при испытаниях по методу 2.

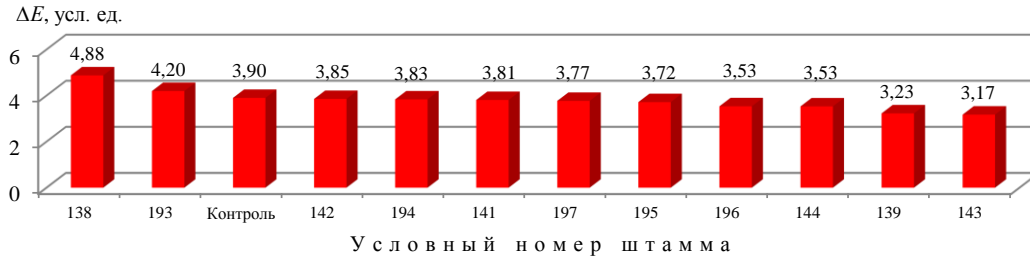


Рис. 1. Цветовое различие ΔE лакокрасочного покрытия ВЭ-69 с красным пигментом после 45 сут воздействия монокультур грибов по методу 1

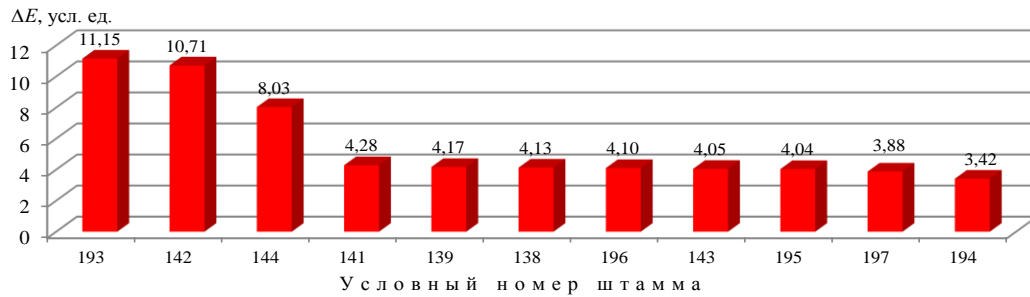


Рис. 2. Цветовое различие ΔE лакокрасочного покрытия ВЭ-69 с красным пигментом после 90 сут воздействия монокультур грибов по методу 2

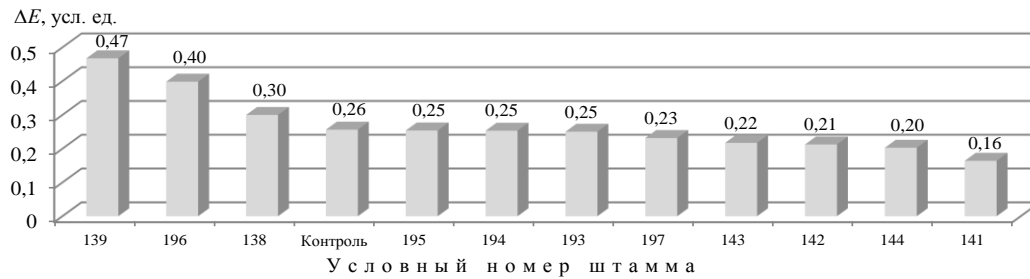


Рис. 3. Цветовое различие ΔE лакокрасочного покрытия ВЭ-69 с серым пигментом после 45 сут воздействия монокультур грибов по методу 1

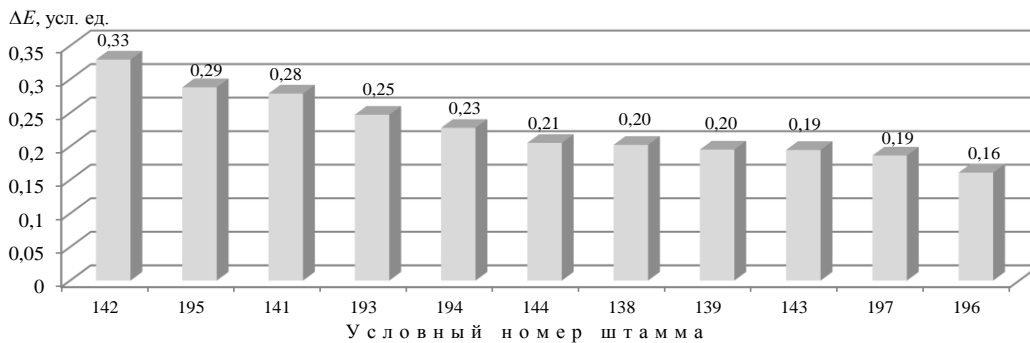


Рис. 4. Цветовое различие ΔE лакокрасочного покрытия ВЭ-69 с серым пигментом после 90 сут воздействия монокультур грибов по методу 2

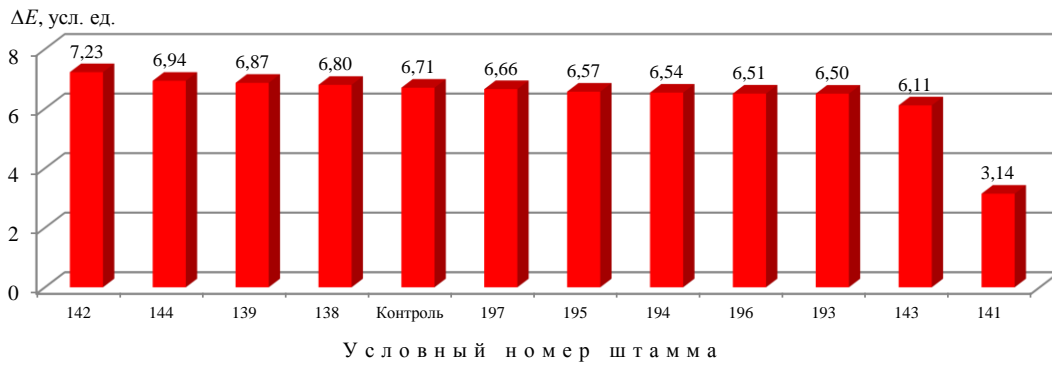


Рис. 5. Цветовое различие ΔE лакокрасочного покрытия ЭП-140 с красным пигментом после 45 сут воздействия монокультур грибов по методу 1

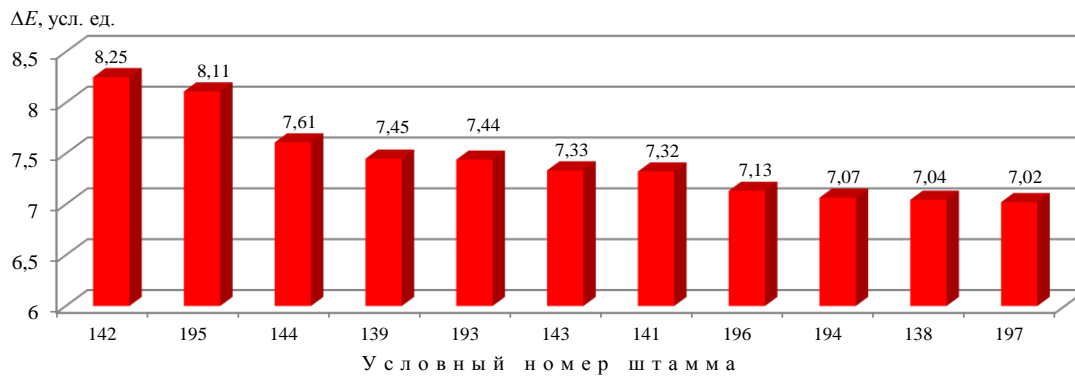


Рис. 6. Цветовое различие ΔE лакокрасочного покрытия ЭП-140 с красным пигментом после 90 сут воздействия монокультур грибов по методу 2

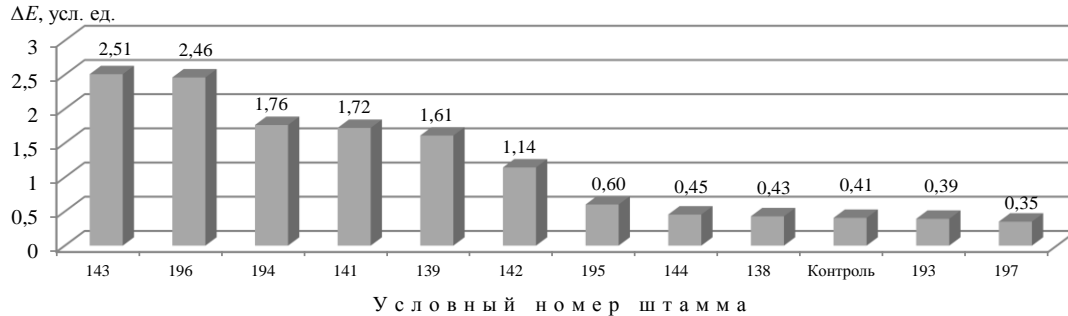


Рис. 7. Цветовое различие ΔE лакокрасочного покрытия ЭП-140 с серым пигментом после 45 сут воздействия монокультур грибов по методу 1

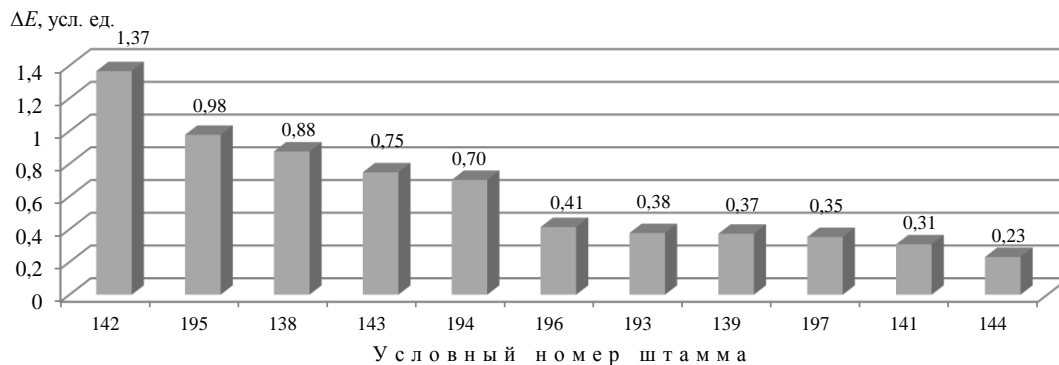


Рис. 8. Цветовое различие ΔE лакокрасочного покрытия ЭП-140 с серым пигментом после 90 сут воздействия монокультур грибов по методу 2

Таким образом, наибольшее воздействие на изменение цвета лакокрасочных покрытий отмечено при воздействии штаммов viam138 *Alternaria alternata*, viam142 *Penicillium oxalicum* и viam139 *Arthrinium phaeospermum*, выделенных в Геленджике, и viam193 *Purpureocillium takamizusanense* и viam196 *Aspergillus terreus*, выделенных в Москве.

Изменения блеска исследованных марок лакокрасочных покрытий после воздействия монокультур грибов приведено на диаграммах (рис. 9–16). После испытаний по методу 1 наибольшее изменение блеска со средним значением 19,41 % принадлежит эмали ВЭ-69 красного цвета, остальные типы покрытий показали приблизительно схожие результаты изменения блеска. Наибольшее изменение блеска принадлежит эмали ЭП-140 серого цвета со средними значениями 19,56 и 16,55 % по методам 1 и 2 соответственно. Наибольшие изменения блеска лакокрасочного покрытия ВЭ-69 с красным пигментом отмечено после воздействия штамма viam142 *Penicillium oxalicum* при испытаниях по методу 1 и после воздействия штамма viam193 *Purpureocillium takamizusanense* при испытаниях по методу 2. Наибольшие изменения блеска лакокрасочного покрытия ВЭ-69 с серым пигментом отмечено после воздействия штамма viam139 *Arthrinium phaeospermum* при испытаниях по методу 2, по методу 1 разница между грибами незначительная. Наибольшие изменения блеска лакокрасочного покрытия ЭП-140 с красным пигментом отмечено после воздействия штамма viam194 *Aspergillus flavus* при испытаниях по методу 1 и после воздействия штамма viam144 *Penicillium rugulosum* при испытаниях по методу 2. Наибольшие изменения блеска лакокрасочного покрытия ЭП-140 с серым пигментом отмечено после воздействия штамма viam194 *Aspergillus flavus* при испытаниях по методу 1 и штамма viam195 *Aspergillus niger* при испытаниях по методу 2.

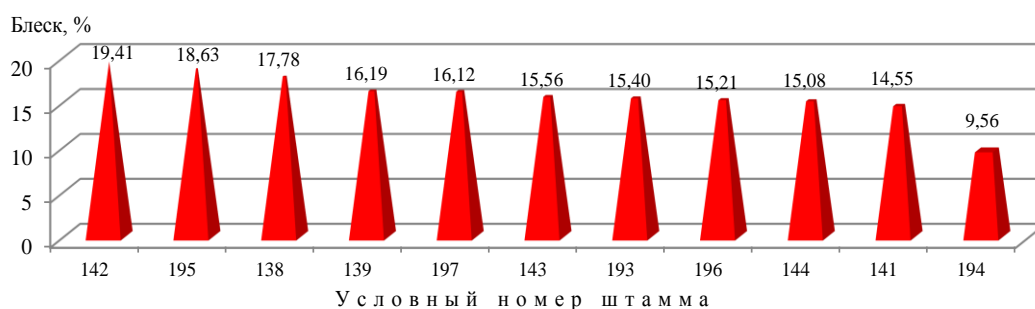


Рис. 9. Изменение блеска лакокрасочного покрытия ВЭ-69 с красным пигментом после 45 сут воздействия монокультур грибов по методу 1

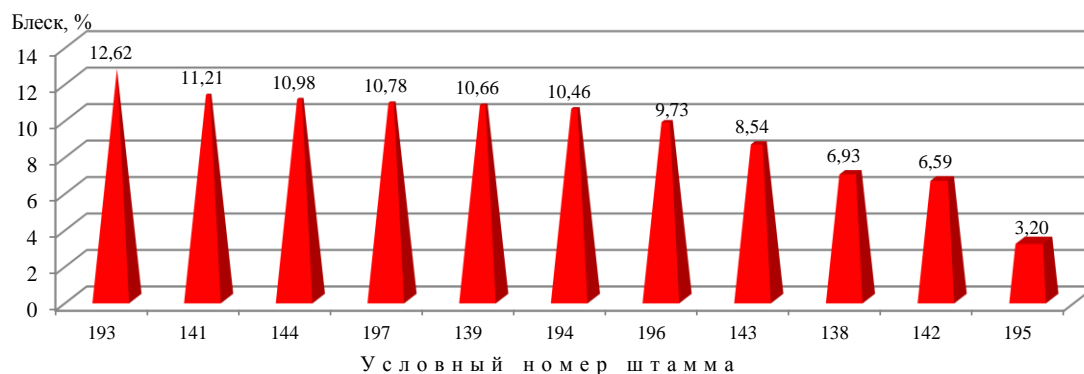


Рис. 10. Изменение блеска лакокрасочного покрытия ВЭ-69 с красным пигментом после 90 сут воздействия монокультур грибов по методу 2

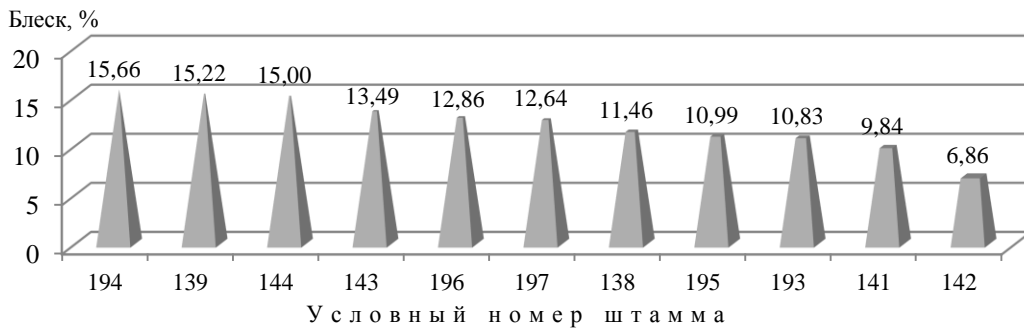


Рис. 11. Изменение блеска лакокрасочного покрытия ВЭ-69 с серым пигментом после 45 сут воздействия монокультур грибов по методу 1

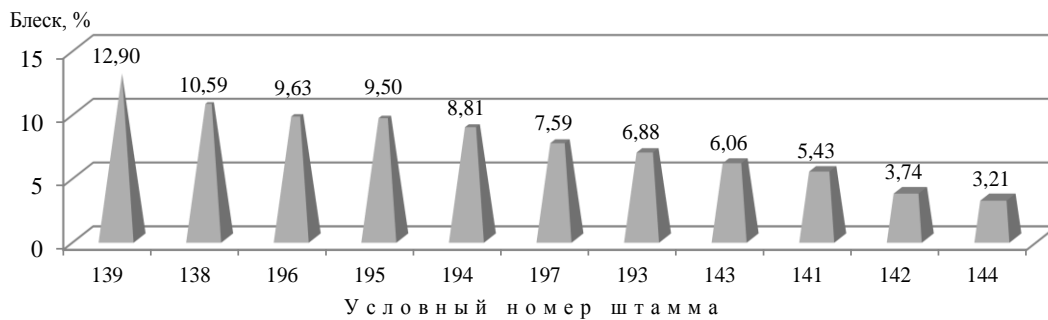


Рис. 12. Изменение блеска лакокрасочного покрытия ВЭ-69 с серым пигментом после 90 сут воздействия монокультур грибов по методу 2



Рис. 13. Изменение блеска лакокрасочного покрытия ЭП-140 с красным пигментом после 45 сут воздействия монокультур грибов по методу 1

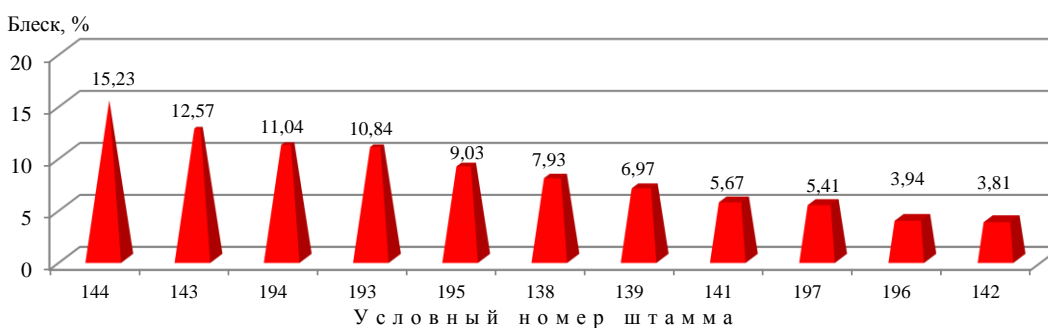


Рис. 14. Изменение блеска лакокрасочного покрытия ЭП-140 с красным пигментом после 90 сут воздействия монокультур грибов по методу 2

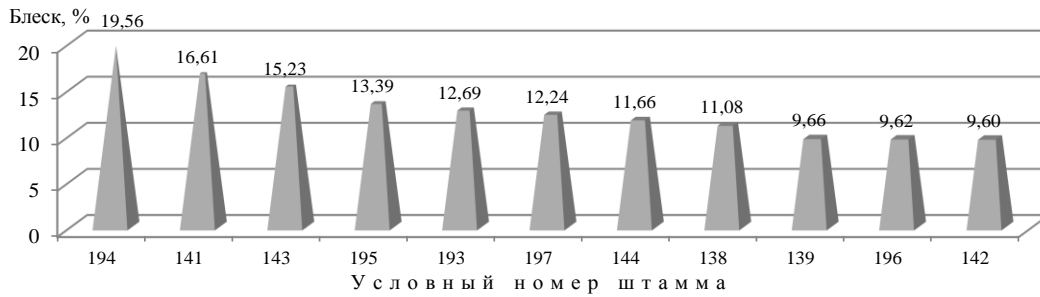


Рис. 15. Изменение блеска лакокрасочного покрытия ЭП-140 с серым пигментом после 45 сут воздействия монокультур грибов по методу 1

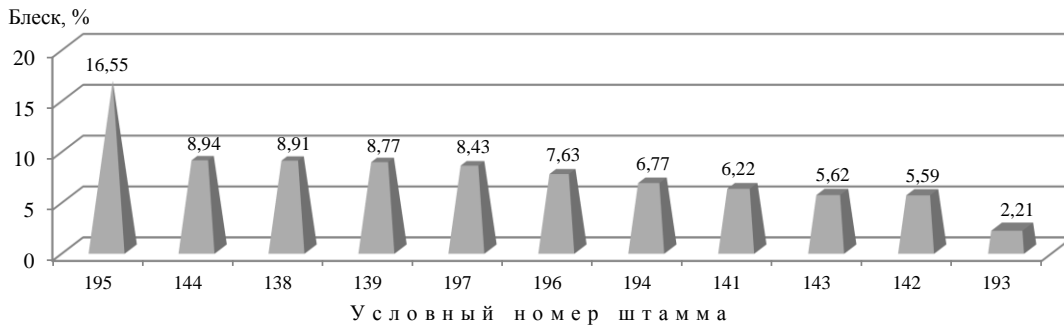


Рис. 16. Изменение блеска лакокрасочного покрытия ЭП-140 с серым пигментом после 90 сут воздействия монокультур грибов по методу 2

Таким образом, наибольшее изменение блеска образцов отмечено после воздействия штамма *viam139 Arthriniium phaeospermum*, выделенного в Геленджике и штаммов *viam194 Aspergillus flavus* и *viam195 Aspergillus niger*, выделенных в Москве.

В результате анализа влияния активного роста микромицетов на цвет и блеск образцов эмалей отмечено, что под влиянием отдельных штаммов наиболее заметные изменения связаны с пигментным составом эмалей. Так, штамм *viam193 Purpureocillium takamizusanense* чаще вызывает большие декоративные изменения обеих марок с красным пигментом, а штамм *viam139 Arthriniium phaeospermum* вызывает большие изменения обеих марок с серым пигментом.

Показано, что после воздействия грибов изменение цвета покрытий ВЭ-69 и ЭП-140 с красным пигментом больше, чем для покрытий аналогичных эмалей с серым пигментом. Изменений защитных свойств, в том числе коррозионных повреждений, после 1,5 и 3 мес воздействия активного роста микромицетов на образцах покрытий эмалей ВЭ-69 и ЭП-140 не выявлено.

Заключения

Выявлены изменения декоративных свойств после воздействия отдельных штаммов микромицетов. Показано, что изменение цвета покрытий ВЭ-69 и ЭП-140 с красным пигментом больше, чем для покрытий аналогичных эмалей с серым пигментом. Исследование адгезионных свойств покрытий ВЭ-69 и ЭП-140 не выявило каких-либо изменений на всех образцах как после стандартных испытаний с тест-культурами по ГОСТ 9.049–91, так и после длительного (45 и 90 сут) воздействия монокультур микромицетов, выделенных с полимерных материалов в условиях умеренного (г. Москва) и умеренно теплого климата (г. Геленджик).

Отмечено, что под влиянием отдельных штаммов наиболее заметные изменения связаны с пигментным составом эмалей. Так, штамм *viam193 Purpureocillium takamizusanense* чаще вызывает большие декоративные изменения обеих марок с красным пигментом, а штамм *viam139 Arthriniium phaeospermum* вызывает большие изменения обеих марок с серым пигментом.

Коррозионных повреждений на образцах покрытий эмалей ВЭ-69 и ЭП-140 за период испытаний не наблюдалось, что свидетельствует о достаточной стойкости к воздействию грибов покрытия на основе этих эмалей на предварительно загрунтованной алюминиевой подложке.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и ННФИ в рамках научного проекта № 20-53-56009.

Список источников

1. Старцев О.В., Молоков М.В., Ерофеев В.Т. Исследование воздействия плесневых грибов на древесину и ее защитные эпоксидные покрытия методом динамической механической спектроскопии // Все материалы. Энциклопедический справочник. 2016. № 4. С. 34–42.
2. Полякова А.В., Кривушина А.А., Горяшник Ю.С., Бухарев Г.М. Испытания на микробиологическую стойкость в натуральных условиях различных климатических зон // Труды ВИАМ. 2016. № 4 (40). Ст. 11. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения: 22.12.2022). DOI: 10.18577/2307-6046-2016-0-4-11-11.
3. Старцев В.О., Молоков М.В., Старцев О.В., Низина Т.А., Низин Д.Р. Влияние алифатического разбавителя ЭТАЛ-1 на климатическую стойкость эпоксидных полимеров на основе смолы ЭД-20 // Все материалы. Энциклопедический справочник. 2016. № 12. С. 26–36.
4. Каблов Е.Н., Старцев В.О. Влияние внутренних напряжений на старение полимерных композиционных материалов. Обзор // Механика композитных материалов. 2021. Т. 57. № 5. С. 805–822.
5. Каблов Е.Н., Старцев О.В., Медведев И.М. Коррозионная агрессивность приморской атмосферы. 2. Новые подходы к оценке коррозивности приморских атмосфер // Коррозия: материалы, защита. 2016. № 1. С. 1–15.
6. Старцев О.В., Медведев И.М., Курс М.Г. Твердость как индикатор коррозии алюминиевых сплавов в морских условиях // Авиационные материалы и технологии. 2012. № 3. С. 16–19.
7. Батраев И.С., Рыбин Д.К., Иванюк К.В., Ульяницкий В.Ю., Штерцер А.А. Износостойкие детонационные покрытия на основе карбида вольфрама для авиационной техники // Авиационные материалы и технологии. 2022. № 1 (66). Ст. 08. URL: <http://www.journal.viam.ru> (дата обращения: 22.12.2022). DOI: 10.18577/2713-0193-2022-0-1-92-109.
8. Меркулова Ю.И., Кузнецова В.А., Кодаченко Е.Н., Железняк В.Г. Исследование влияния химической природы грунтовочного слоя на свойства системы покрытий на основе фторполиуретановой эмали // Авиационные материалы и технологии. 2022. № 1 (66). Ст. 09. URL: <http://www.journal.viam.ru> (дата обращения: 22.12.2022). DOI: 10.18577/2713-0193-2022-0-1-110-119.
9. Железняк В.Г., Сердцелюбова А.С., Меркулова Ю.И., Скивко П.В. Система лакокрасочных покрытий на основе полиуретановой эмали для защиты лобовых обогреваемых поверхностей изделий авиационной техники // Авиационные материалы и технологии. 2022. № 1 (66). Ст. 10. URL: <http://www.journal.viam.ru> (дата обращения: 22.12.2022). DOI: 10.18577/2713-0193-2022-0-1-120-128.
10. Меркулова Ю.И., Куршев Е.В., Вдовин А.И., Андреева Н.П. Микроструктурные и электрохимические исследования лакокрасочных покрытий в условиях натуральных климатических испытаний тропического климата Северной Америки // Авиационные материалы и технологии. 2022. № 2 (67). Ст. 11. URL: <http://www.journal.viam.ru> (дата обращения: 22.12.2022). DOI: 10.18577/2713-0193-2022-0-2-120-130.
11. Rojas T.I., Aira M.J., Batista A. et al. Fungal biodeterioration in historic buildings of Havana (Cuba) // Grana. 2012. Vol. 51. Is. 1. P. 44–51.
12. Попихина Е.А., Трепова Е.С. Микодеструкторы строительных материалов // Тез. докл. Четвертого съезда микологов России «Современная микология в России». М.: Национальная академия микологии. 2017. Т. 6. С. 424–426.
13. Огаркова Г.Р., Буковская Н.Е., Самусенок Л.В., Огарков Б.Н. Биоповреждения пористых строительных материалов ассоциациями специфичных микроорганизмов // Тез. докл. Третьего съезда микологов России «Современная микология в России». М.: Национальная академия микологии. 2012. Т. 3. С. 224–225.

14. Балюта А.А., Важинская И.С. Стойкость современных строительных материалов к плесневому поражению // Тез. докл. Третьего съезда микологов России «Современная микология в России». М.: Национальная академия микологии. 2012. Т. 3. С. 210.
15. Катаев А.Д., Кураков А.В. Микробная колонизация и деструкция биоразлагаемых синтетических материалов на основе полигидроксibuтирата и полигидроксивалериата в почвах // Тез. докл. Третьего съезда микологов России «Современная микология в России». М.: Национальная академия микологии. 2012. Т. 3. С. 218–219.
16. Гончарова И.А., Сабадаха Е.Н., Тригубович А.М., Черная Н.В. Микологический анализ промышленных материалов, контаминированных микроскопическими грибами // Труды БГТУ. Сер. 2. 2020. № 2. С. 163–168.
17. Смоляницкая О.Л. Микромицеты как потенциальные агенты биоповреждения культурных ценностей и стратегия защиты от них в Государственном Эрмитаже: автореф. дис. ... канд. биол. наук. СПб., 2007. 26 с.
18. Севастьянов Д.В., Сутубалов И.В., Дасковский М.И., Шеин Е.А. Полимерные биокомпозиты на основе биоразлагаемых связующих, армированных натуральными волокнами (обзор) // Авиационные материалы и технологии. 2017. № 4 (49). С. 42–50. DOI: 10.18577/2071-9140-2017-0-4-42-50.
19. Горяева А.Г., Великова Т.Д., Добрусина С.А. Микобиота воздуха и композитов бумаги с полимерными покрытиями в Российской национальной библиотеке // Микология и фитопатология. 2010. № 44 (1). С. 10–18.
20. Лугаускас А.Ю., Микульскене А.И., Шляужене Д.Ю. Каталог микромицетов – биодеструкторов полимерных материалов. М.: Наука, 1987. С. 258–259.

References

1. Startsev O.V., Molokov M.V., Erofeev V.T. Investigation of the impact of mold fungi on wood and its protective epoxy coatings by dynamic mechanical spectroscopy. *Vse materialy. Entsiklopedicheskiy spravochnik*, 2016, no. 4, pp. 34–42.
2. Polyakova A.V., Krivushina A.A., Goryashnik Yu.S., Buharev G.M. Microbiological resistance tests under nature conditions in variety of climatic zones. *Trudy VIAM*, 2016, no. 4, paper no. 11. Available at: <http://www.viam-works.ru> (accessed: December 22, 2022). DOI: 10.18577/2307-6046-2016-0-4-11-11.
3. Startsev V.O., Molokov M.V., Startsev O.V., Nizina T.A., Nizin D.R. Influence of the aliphatic thinner ETAL-1 on the climatic resistance of epoxy polymers based on ED-20 resin. *Vse materialy. Entsiklopedicheskiy spravochnik*, 2016, no. 12, pp. 26–36.
4. Kablov E.N., Startsev V.O. Influence of internal stresses on the aging of polymer composite materials. Review. *Mekhanika kompozitnykh materialov*, 2021, vol. 57, no. 5, pp. 805–822.
5. Kablov E.N., Startsev O.V., Medvedev I.M. Corrosive aggressiveness of the coastal atmosphere. 2. New approaches to assessing the corrosiveness of coastal atmospheres. *Korroziya: materialy, zashchita*, 2016, no. 1, pp. 1–15.
6. Startsev O.V., Medvedev I.M., Kurs M.G. Hardness as the indicator of corrosion of aluminum alloys in sea conditions. *Aviacionnye materialy i tehnologii*, 2012, no. 3, pp. 16–19.
7. Batraev I.S., Rybin D.K., Ivanyuk K.V., Ulianitsky V.Yu., Shtertser A.A. Wear resistant detonation coatings based on tungsten carbide for aviation products. *Aviation materials and technologies*, 2022, no. 1 (66), paper no. 08. Available at: <http://www.journal.viam.ru> (accessed: December 22, 2022). DOI: 10.18577/2713-0193-2022-0-1-92-109.
8. Merkulova Yu.I., Kuznetsova V.A., Kodachenko E.N., Zheleznyak V.G. Study of the influence of the primer layer's chemical nature on the properties of the coating system based on fluoropolyurethane enamel. *Aviation materials and technologies*, 2022, no. 1 (66), paper no. 09. Available at: <http://www.journal.viam.ru> (accessed: December 22, 2022). DOI: 10.18577/2713-0193-2022-0-1-110-119.
9. Zheleznyak V.G., Serdcelyubova A.S., Merkulova Yu.I., Skivko P.V. Paint coating system based on polyurethane enamel for protecting heated frontal surfaces of aviation products. *Aviation materials and technologies*, 2022, no. 1 (66), paper no. 10. Available at: <http://www.journal.viam.ru> (accessed: December 22, 2022). DOI: 10.18577/2713-0193-2022-0-1-120-128.

10. Merkulova Yu.I., Kurshev E.V., Vdovin A.I., Andreeva N.P. Microstructural and electrochemical studies of paint coatings under natural climate tests of tropical climate of North America. *Aviation materials and technologies*, 2022, no. 2 (67), paper no. 11. Available at: <http://www.journal.viam.ru> (accessed: December 22, 2022). DOI: 10.18577/2713-0193-2022-0-2-120-130.
11. Rojas T.I., Aira M.J., Batista A. et al. Fungal biodeterioration in historic buildings of Havana (Cuba). *Grana*, 2012, vol. 51, is. 1, pp. 44–51.
12. Popikhina E.A., Trepova E.S. Mikodestrukturny building materials. *Report Fourth Congress of Russian Mycologists "Modern Mycology in Russia"*. Moscow: National Academy of Mycology, 2017, vol. 6, pp. 424–426.
13. Ogarkova G.R., Bukovskaya N.E., Samusenok L.V., Ogarkov B.N. Biodamage of porous building materials by associations of specific microorganisms. *Report Third Congress of Russian Mycologists "Modern Mycology in Russia"*. Moscow: National Academy of Mycology, 2012, vol. 3, pp. 224–225.
14. Balyuta A.A., Vazhinskaya I.S. The resistance of modern building materials to mold damage. *Report Third Congress of Russian Mycologists "Modern Mycology in Russia"*. Moscow: National Academy of Mycology, 2012, vol. 3, pp. 210.
15. Kataev A.D., Kurakov A.V. Microbial colonization and destruction of biodegradable synthetic materials based on polyhydroxybutyrate and polyhydroxyvalerate in soils. *Report Third Congress of Russian Mycologists "Modern Mycology in Russia"*. Moscow: National Academy of Mycology, 2012, vol. 3, pp. 218–219.
16. Goncharova I.A., Sabadakha E.N., Trigubovich A.M., Chernaya N.V. Mycological analysis of industrial materials contaminated with microscopic fungi. *Proceedings of BSTU. Ser.: 2*, 2020, no. 2, pp. 163–168.
17. Smolyanitskaya O.L. *Micromycetes as potential agents of biodamage of cultural values and a strategy for protection against them in the State Hermitage Museum*: thesis, Cand Sc. (Biol.). SPb., 2007, 26 p.
18. Sevastyanov D.V., Sutubalov I.V., Daskovskij M.I., Shein E.A. Polymer biocomposites based on biodegradable binders reinforced by natural fibers (review). *Aviacionnye materialy i tehnologii*, 2017, no. 4 (49), pp. 42–50. DOI: 10.18577/2071-9140-2017-0-4-42-50.
19. Goryaeva A.G., Velikova T.D., Dobrusina S.A. Mycobiota of air and polymer-coated paper composites in the Russian National Library. *Mikologiya i fitopatologiya*, 2010, no. 44 (1), pp. 10–18.
20. Lugauskas A.Yu., Mikulskene A.I., Shlyauzhene D.Yu. *Catalog of micromycetes – biodestructors of polymeric materials*. Moscow: Nauka, 1987, pp. 258–259.

Информация об авторах

Антипов Владислав Валерьевич, заместитель генерального директора по науке, д.т.н., НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ, admin@viam.ru

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

Старцев Валерий Олегович, начальник лаборатории, д.т.н., НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ, admin@viam.ru

Коган Алексей Маркович, инженер, НИЦ «Курчатовский институт» – ВИАМ, admin@viam.ru

Information about the authors

Vladislav V. Antipov, Deputy Director General for Science, Doctor of Sciences (Tech.), NRC «Kurchatov Institute» – VIAM, admin@viam.ru

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

Valery O. Startsev, Head of Laboratory, Doctor of Sciences (Tech.), NRC «Kurchatov Institute» – VIAM, admin@viam.ru

Aleksey M. Kogan, Engineer, NRC «Kurchatov Institute» – VIAM, admin@viam.ru

Статья поступила в редакцию 27.02.2023; одобрена и принята к публикации после рецензирования 01.03.2023.

The article was submitted 27.02.2023; approved and accepted for publication after reviewing 01.03.2023.