

УДК 674.048

Т. И. Копылова¹, С. Г. Гузий², И. К. Божелко³, А. А. Коновалова³, Е. Н. Сабадаха³¹УП «Арсен»² Институт химии высокомолекулярных соединений НАН Украины³Белорусский государственный технологический университет

ОЦЕНКА СТОЙКОСТИ ВОДНО-ДИСПЕРСИОННЫХ КРАСОК ПО ОТНОШЕНИЮ К ПЛЕСНЕВЫМ ГРИБАМ РОДА *ASPERGILLUS*

В работе представлены результаты испытаний по оценке стойкости водно-дисперсионных красок «Полицвет» ВД-АКД белая, «Полицвет» ВД АК-11Д оранжевая, «Полицвет» ВД АК-11Д зеленая и лака ВД АК-11Л по отношению к плесневым грибам рода *Aspergillus*. Методика выполнения испытаний состояла из отбора образцов испытываемых красок и лака; подготовки питательных сред; подготовки суспензии спор *Aspergillus*; фиксации изменений и оценки степени поражения испытываемых красок и лака грибом *Aspergillus*. Фиксация уровня поражения лакокрасочных материалов грибом *Aspergillus* выполнялась на 7, 14 и 21-е сут испытаний. Общая картина поражения водно-дисперсионных (акриловых) основ идентична кремнийорганической основе. На 7-е сут от начала проведения испытаний для водно-дисперсионных основ не отмечено уровня задержки роста мицелия гриба *Aspergillus*. Такая же тенденция к поражению характерна для водно-дисперсионных основ и на 14-е, и на 21-е сут от начала проведения испытаний. Испытания лакокрасочных материалов на водно-дисперсионной основе показали, что с увеличением времени выдержки происходит повышение уровня поражения их мицелием гриба *Aspergillus* в средах Сабуро и Чапека и не наблюдается уровня сдерживания ни одним из испытываемых видов лакокрасочных материалов.

Ключевые слова: лакокрасочные материалы, биоповреждение, плесневые грибы, биостойкость, гидрофобность.

Для цитирования: Копылова Т. И., Гузий С. Г., Божелко И. К., Коновалова А. А., Сабадаха Е. Н. Оценка стойкости водно-дисперсионных красок по отношению к плесневым грибам рода *Aspergillus* // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хоз-во, природопользование и перераб. возобновляемых ресурсов. 2022. № 1 (252). С. 208–216.

Т. I. Kopylova¹, S. G. Guzii², I. K. Bazhelka³, A. A. Kanavalava³, E. N. Sabadakh³¹Private Company “Arsen”²Institute of Macromolecular Chemistry of the National Academy of Sciences of Ukraine³Belarusian State Technological University

EVALUATION OF THE RESISTANCE OF WATER-DISPERSION PAINTS IN RELATION TO MOLD FUNGI OF THE GENUS *ASPERGILLUS*

The paper presents the results of tests to assess the resistance of water-dispersion paints “Politsvet” VD-AKD white, “Politsvet” VD AK-11D orange, “Politsvet” VD AK-11D green and varnish VD AK-11L in relation to mold fungi of the genus *Aspergillus*. The test procedure consisted of: sampling of the tested paints and varnish; preparation of nutrient media; preparation of a suspension of *Aspergillus* spores; fixation of changes and assessment of the degree of damage to the tested paints and varnish by the *Aspergillus* fungus. Fixation of the level of damage to paint and varnish materials by the fungus *Aspergillus* was performed on the 7th, 14th and 21st days of testing. The general picture of damage to water-dispersion (acrylic) bases is identical to the organosilicon base. On the 7th day from the start of the tests for water-dispersion bases, there was no level of growth retardation of the mycelium of the fungus *Aspergillus*. The same tendency to defeat is characteristic for both 14 and 21 days from the start of the tests. Tests of paints and varnishes on a water-dispersion basis have shown that with an increase in the exposure time, the level of their mycelium of the fungus *Aspergillus* increases in Saburo and Chapek environments, and there is no level of containment by any of the tested types of paints and varnishes.

Key words: paint and varnish materials, bio-damaged, mold fungi, biostability, hydrophobicity.

For citation: Kopylova T. I., Guzii S. G., Bazhelka I. K., Kanavalava A. A., Sabadakh E. N. Evaluation of the resistance of water-dispersion paints in relation to mold fungi of the genus *Aspergillus*. *Proceedings of BSTU, issue 1, Forestry. Nature Management. Processing of Renewable Resources*, 2022, no. 1 (252), pp. 208–216 (In Russian).

Введение. Древесина составляет группу самых распространенных материалов, применяемых человеком и, будучи органическим материалом природного происхождения, служит источником углеродного питания для многих живых организмов [1, 2]. Утилизирующие древесину организмы являются источником биоповреждений деловой древесины, деревянных построек, мебели и других изделий из нее. В строительстве потребляется около 50% всей ежегодно заготавливаемой древесины в виде круглого леса, пиломатериалов, фанеры, тары, различных плит и других изделий, элементов и конструкций [3].

Широкое применение древесины основано на ее положительных свойствах: легкости обработки, высокой прочности, возможности длительной эксплуатации в сухой среде, красивом внешнем виде и др. Основными недостатками древесины являются горючесть [4], загнивание и повышенная гигроскопичность [5], а также ее повреждаемость насекомыми [6, 7].

Основными агентами биоповреждений древесины являются развивающиеся на древесине микроскопические грибы, насекомые. В умеренных широтах на долю поражений грибами приходится около 90% всех биоповреждений древесины [8]. Биоповреждение древесины происходит в основном в результате использования грибами и насекомыми в качестве источника питания целлюлозы, лигнина и других компонентов [9, 10]. Бактерии по сравнению с грибами и насекомыми, непосредственно разрушающими волокна древесины, причиняют меньший ущерб и оказывают косвенное повреждающее действие.

Среди грибов, вызывающих биоповреждения древесины, выделяют три основные группы: грибы поверхностной плесени (плесневые); дереворастворяющие; дереворазрушающие.

С учетом того, что многие изделия производят из пораженной древесины, возникает вполне конкретный вопрос, а именно какова же стойкость лакокрасочных материалов к воздействию на них дереворастворяющих грибов?

Актуальность работы в данном направлении очевидна – это исследование биостойкости основ лакокрасочных материалов в изделиях из некондиционной древесины, зараженной плесневыми грибами, в частности рода *Aspergillus*.

Основная часть. Лакокрасочные материалы (ЛКМ) и покрытия (ЛКП) [11, 12], применяемые в условиях, благоприятных для развития и роста плесневых грибов, бактерий и других микроорганизмов, могут подвергаться микробиологическим повреждениям. Характерные признаки их проявления – серо-зеленые, темные пятна, налеты плесени, бактериальной слизи на окрашенных поверхностях. Особенно это заметно в местах с повышенной влажностью. Вследствие таких поражений

на поверхности ЛКМ заметны растрескивание, шелушение, отслаивание, образование бугров и отверстий [13].

На ускорение процесса биоповреждения влияет атмосферная влага с растворенными в ней агрессивными химическими веществами. Деструктивно воздействие солнечного света, повышенных температур и т. д. Перечисленные факторы вызывают старение ЛКМ [14, 15]. Климатические условия, в которых находятся материалы, приборы и оборудование, и условия эксплуатации определяют физико-химические факторы, влияющие на развитие тех микроорганизмов, которые осуществляют биоповреждение [16, 17]. Большое значение в возникновении очагов биоповреждения имеют экологические факторы, химический состав компонентов полимерных материалов, степень загрязнения окружающей среды и т. д. [17]. Эти же условия определяют флористический состав микроорганизмов, типичный для той или иной группы материалов [18, 19].

Большую роль в процессах биокоррозии лакокрасочных покрытий играют микроскопические грибы, а также углеводородокисляющие и сульфатредуцирующие микроорганизмы [20]. Грибы, разрушающие полимеры, продуцируют комплекс аминокислот, органических кислот и ряд ферментов, действующих на субстрат; особенно активны по отношению к полимерным материалам целлюлозоразрушающие грибы. Бактериальное поражение встречается реже и проявляется в виде бесцветного или окрашенного слизистого налета [21]. Среди микроорганизмов, повреждающих ЛКП, часто встречаются грибы родов *Aspergillus*, *Penicillium*, *Fusarium*, *Trichoderma*, *Alternaria*, *Cephalosporium*, *Pullularia*, бактерии родов *Pseudomonas*, *Flavobacterium*. Видовой состав грибов, повреждающих ЛКП, специфичен для различных почвенно-климатических зон. Он формируется из видов, составляющих сообщество, характерное для почв той или иной зоны [19, 20].

Развитие грибов на ЛКП происходит либо за счет использования ими компонентов, входящих в состав покрытия, либо за счет веществ, загрязняющих поверхность ЛКП. Разрушение ЛКП осуществляется в результате механического воздействия мицелия плесневых грибов на покрытие и под влиянием метаболитов, выделяемых микромицетами в процессе их жизнедеятельности (органических кислот, аминокислот, ферментов и др.) [22]. Последние вызывают у ЛКП снижение физико-механических показателей, таких как модуль упругости, напряжения при растяжении и относительные удлинения при разрыве. Трещины, отслаивание, вспучивание ЛКП могут вызывать микроорганизмы, находящиеся на поверхности или под пленкой ЛКП. Рост грибов и их развитие под пленкой сопровождается газообразованием

и повышением давления, достаточного для отслаивания и вспучивания ЛКП [14, 16].

На биостойкость оказывают влияние и другие компоненты лаков и красок (растворители, разбавители, стабилизаторы, отвердители и др.) [23, 24], а также материал, на который наносится покрытие – подложка. Так, покрытия на древесине сохраняются лучше, чем на металле или силикатных строительных материалах [19].

Биостойкость ЛКП также зависит от гидрофобности покрытия и распределения конденсата влаги на поверхности материала. Чем выше гидрофобность покрытия, тем выше его грибоустойчивость.

Следует отличать грибоустойчивость ЛКМ от грибоустойчивости системы ЛКП. Имеют место случаи, когда устойчивый к воздействию микромицетов ЛКМ в системе ЛКП повреждался плесневыми грибами, и наоборот, негрибоустойчивый ЛКМ проявлял биостойкие свойства. Это, очевидно, связано с тем, что грибоустойчивость системы ЛКП зависит от состава всех ее компонентов: подложки, грунтовки, покрытия. Поэтому для рекомендаций по эксплуатации ЛКП с точки зрения их грибоустойчивости необходимо исследовать биостойкость не только отдельных компонентов системы ЛКП, но и всей системы в целом.

Пленкообразующие вещества определяют биостойкость ЛКМ и защитных покрытий на их основе. Решающим фактором биостойкости являются химическое строение полимерного пленкообразователя и проявление его свойств в неотвержденном и отвержденном состояниях. Установлена связь между химическим строением применяемых пленкообразователей и скоростью роста ряда распространенных штаммов грибов.

Из числа исследованных пленкообразующих веществ лучшую биостойчивость имеют синтетические пленкообразующие полимеры. Грибоустойчивость этих покрытий уменьшается в следующем ряду: эпоксидные, полиуретановые, мелаиноалкидные, кремнийорганические, пентафталевые [23, 24]. Повышению грибоустойчивости способствуют увеличение скорости отверждения пленкообразующего вещества, уменьшение водопоглощения, шероховатости и пористости пленки. Гладкие блестящие и ровные пленки более биостойки из-за того, что на них труднее адсорбируются споры грибов и они меньше загрязняются.

Широко распространенное полимерное связующее – поливинилацетатная дисперсия. Изготавливаемые на ее основе краски, покрытия, мастики, грунтовки и другие материалы негрибоустойчивы. Непластифицированные дисперсии поражаются грибами сильнее, чем пластифицированные. Негрибоустойчивы не только покрытия из поливинилацетатных красок, но и сами жидкие краски, которые в процессе хранения поражаются плесневыми грибами и бактериями, при этом

снижается их вязкость, образуются газообразные продукты [25].

В отличие от органических водорастворимых пленкообразователей, неорганические пленкообразователи обладают высокой биостойкостью. Примером таких пленкообразователей служит жидкое стекло, применяемое в производстве силикатных красок [26].

Цель исследования – изучение стойкости основ лакокрасочных материалов, предназначенных для окрашивания древесины при воздействии на них плесневых грибов.

В качестве исходных материалов для проведения испытаний использовали промышленные краски и лак на водно-дисперсионных основах для окрашивания изделий и конструкций из древесины «Полицвет» ВД-АКД, «Полицвет» ВД АК-11Д, «Полицвет» ВД АК-11Л производства УП «Арсен» (Беларусь). Данные ЛКМ широко используются в Республике Беларусь, являются экологически чистыми, атмосферостойкими, не токсичными и пожаровзрывобезопасными. ЛКМ «Полицвет» имеют отличную адгезию с поверхностью, обладают высокой паропроницаемостью, влагостойки и не удерживают грязь.

Из многообразия методик по оценке биостойкости [27, 28] исследования ЛКМ проводили согласно требованиям EN 15457: 2014 Краски и лаки. Лабораторный метод определения эффективности пленочных биоцидов в покрытиях против грибов [29]; ISO/IEC 17025: 2017 Общие требования к компетентности испытательных и калибровочных лабораторий [30]; EN 1275:2005 Средства химические дезинфекционные и антисептические, основная фунгицидная активность. Метод испытания и требования (стадия 1) [31].

Методика выполнения эксперимента по определению биостойкости:

1) были отобраны образцы покровных материалов по нормам EN ISO 1513 [32];

2) для проверки на контаминации образцы покровных материалов были помещены в чашки Петри со средой Чапека и Сабуро на 5 сут при температуре $(23 \pm 2)^\circ\text{C}$ и относительной влажности $(50 \pm 5)\%$ по SIST EN 23270 [33]; результат контаминации – образцы покровных материалов не заражены патогенной флорой и грибами;

3) подготовлены 6 дисков фильтровальной бумаги диаметром 55 мм для каждого образца краски. Перед нанесением диски стерилизовали гамма-излучением >10 кГр;

4) в подготовленные и простерилизованные чашки Петри были помещены среды Чапека и Сабуро, по 3 на каждую. Состав питательных сред для микробиологического анализа:

– картофельно-глюкозный агар – КГА (г/л): картофель – 200,0; глюкоза – 20,0; агар-агар – 20,0; дистиллированная вода;

– Чапека – Докса с агаром (г/л): KH_2PO_4 – 0,7; K_2HPO_4 – 0,3; $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ – 0,5; NaNO_3 – 2,0; KCl – 0,5; $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ – 0,01; сахароза – 30,0; вода дистиллированная;

– Сабуро (г/л): глюкоза – 40,0; пептоны – 10,0; агар-агар – 20,0; вода дистиллированная;

5) был проведен тест-посев плесневых культур Аспергиллы черной (*Aspergillus niger*) в сусло-агар 6%-ного Балинга и Хэтом шаровой (*Chaetomium globosum*) в КГА (картофельно-глюкозный агар) с фильтровальной бумагой при температуре $(24 \pm 2)^\circ\text{C}$ в течение 7 дней; результат – *Aspergillus niger* пророс, *Chaetomium globosum* – не пророс;

6) подготовили суспензию спор *Aspergillus niger* с концентрацией 10^6 спор/мл;

7) провели заражение чашек Петри со средой, в которой находились образцы красок, нанесенные на фильтровальную бумагу. Наносили 3 капли на диск и 3 в среду (рис. 1), примерно $0,5 \cdot 10^6$ спор в одну чашку;

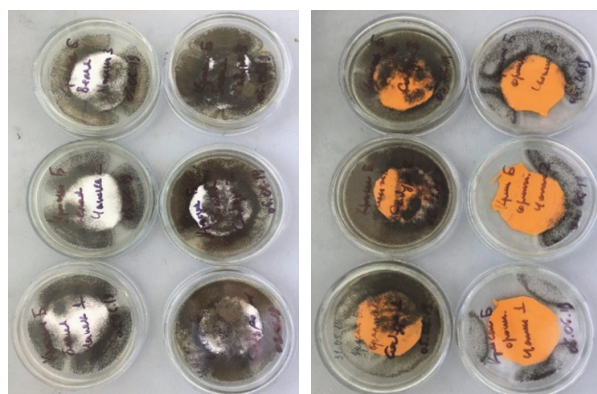
8) чашки Петри с образцами поместили в термостат с температурой $(24 \pm 2)^\circ\text{C}$ на 21-е сут;

9) фиксацию изменений выполняли на 7, 14 и 21-е сут испытаний;

10) оценку степени повреждения определяли в баллах, согласно требованиям стандарта: соотношение уровня заражения к баллам: 0% – 0; до 10% – 1; от 10 до 30% – 2; от 30 до 50% – 3 и от 50% – 4.

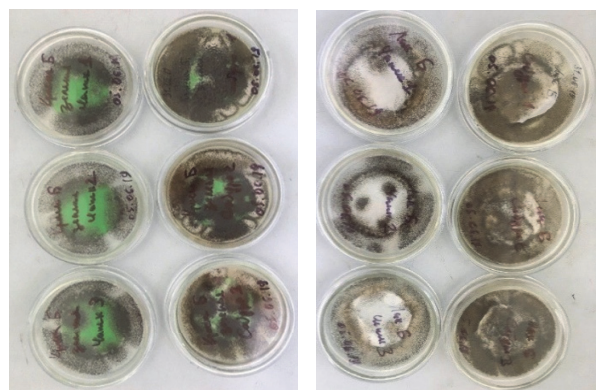
С учетом того, что окраска изделий из древесины, изготовленных в основном на некондиционном и частично зараженном сырье сосны, целесообразно исследование стойкости основ красок к воздействию плесневого гриба *Aspergillus niger*.

Общая картина поражения водно-дисперсионных (акриловых) основ идентична кремнийорганической основе (рис. 1, табл. 1). В среде Сабуро краски белая, оранжевая, зеленая и лак имеют наивысший уровень поражения – 4 балла. В среде Чапека у белой краски 4 балла, оранжевой 1 балл, в зеленой и лаке – 3,7 балла.



а

б



в

з

Рис. 1. Зоны роста гриба *Aspergillus niger* в питательных средах Чапек и Сабуро после 7 сут от начала заражения водно-дисперсионной (акриловой) основы: а – краска «Полицвет» ВД-АКД белая; б – краска «Полицвет» ВД АК-11Д оранжевая; в – «Полицвет» ВД АК-11Д зеленая; з – лак ВД АК-11Л

Таблица 1

Уровень поражения грибом *Aspergillus niger* после 7 сут от начала заражения основ ЛКМ

Вид лакокрасочной основы / тип краски	Среда Сабуро		Среда Чапека	
	Уровень поражения, балл, средний	Зона задержки роста, мм, средняя	Уровень поражения, балл, средний	Зона задержки роста, мм, средняя
Водно-дисперсионная (акриловая) (УП «Арсен», Беларусь)				
«Полицвет» ВД-АКД белая	4	–	4	–
«Полицвет» ВД АК-11Д оранжевая	4	–	1	–
«Полицвет» ВД АК-11Д зеленая	4	–	3,7	–
ВД АК-11Л	4	–	3,7	–

На 7-е сут от начала заражения для водно-дисперсионных основ не отмечено уровня задержки роста мицелия гриба *Aspergillus niger*.

Общая тенденция к поражению характерна и на 14-е, и на 21-е сут от начала заражения (табл. 2, рис. 2, рис. 3, табл. 3).

У красок «Полицвет» ВД-АКД белая, «Полицвет» ВД АК-11Д зеленая и лака ВД АК-11Л на 14-е сут в средах Сабуро достигнут максимальный уровень поражения мицелием гриба водно-дисперсионных основ (рис. 2, табл. 2). Уровень сдерживания роста для всех видов красок не отмечен.

Таблица 2
Уровень поражения грибом *Aspergillus niger* после 14 сут от начала заражения основ ЛКМ

Вид лако-красочной основы / тип краски	Среда Сабуро		Среда Чапека	
	Уровень поражения, балл, средний	Зона задержки роста, мм, средняя	Уровень поражения, балл, средний	Зона задержки роста, мм, средняя
Водно-дисперсионная (акриловая) (УП «Арсен», Беларусь)				
«Полицвет» ВД-АКД белая	4	–	4	–
«Полицвет» ВД АК-11Д оранжевая	4	–	2,3	–
«Полицвет» ВД АК-11Д зеленая	4	–	4	–
ВД АК-11Л	4	–	4	–

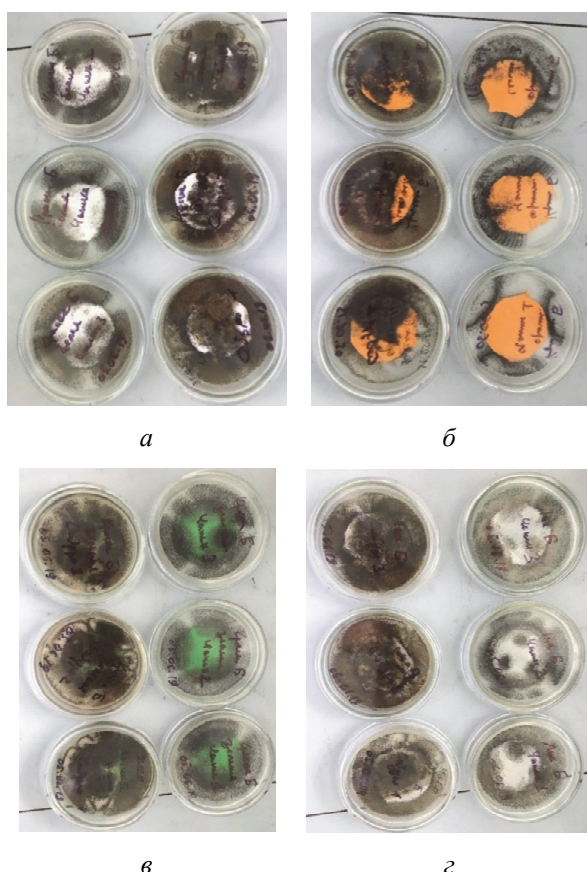


Рис. 2. Зоны роста гриба *Aspergillus niger* в питательных средах Чапек и Сабуро после 14 сут от начала заражения водно-дисперсионных (акриловых) основ: а – краска «Полицвет» ВД-АКД белая; б – краска «Полицвет» ВД АК-11Д оранжевая; в – «Полицвет» ВД АК-11Д зеленая; з – лак ВД АК-11Л

У краски «Полицвет» ВД АК-11Д оранжевой на 14-е сут от момента заражения в среде Чапека отмечается рост поражения до 2,3 балла (рис. 2, табл. 2). Это значение в 2,3 раза выше по сравнению со значением в 7-суточным возрастом (рис. 1, табл. 1).

У красок «Полицвет» ВД-АКД белая, «Полицвет» ВД АК-11Д зеленая и ВД АК-11Л на 21-е сут в средах Сабуро и Чапека достигнут максимальный уровень поражения мицелием гриба водно-дисперсионных основ (рис. 3, табл. 3). Уровень сдерживания роста для всех видов красок не отмечен.

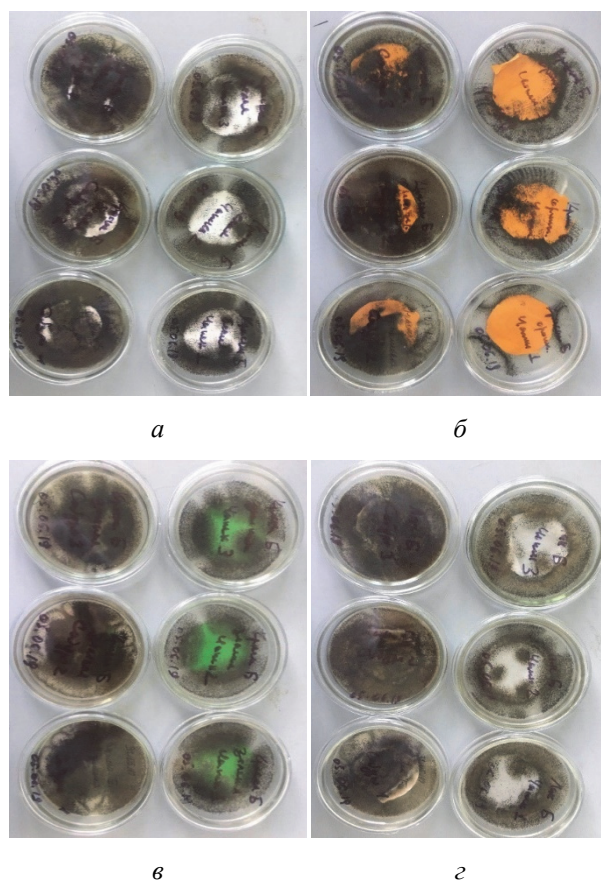


Рис. 3. Зоны роста гриба *Aspergillus niger* в питательных средах Чапек и Сабуро после 21 сут от начала заражения водно-дисперсионных (акриловых) основ: а – краска «Полицвет» ВД-АКД белая; б – краска «Полицвет» ВД АК-11Д оранжевая; в – «Полицвет» ВД АК-11Д зеленая; з – лак ВД АК-11Л

У акриловой основы краски «Полицвет» ВД АК-11Д, оранжевой в среде Чапека, на 21-е сут уровень заражения составляет 3,7 балла (рис. 3, табл. 3). Данное значение в 1,6 раза выше по сравнению с 14-м индукционным периодом. Уровень сдерживания роста для всех видов красок не отмечен.

Таблица 3
Уровень поражения грибом *Aspergillus niger* после 21 сут от начала заражения основ ЛКМ

Вид лако-красочной основы / тип краски	Среда Сабуро		Среда Чапека	
	Уровень поражения, балл, средний	Зона задержки роста, мм, средняя	Уровень поражения, балл, средний	Зона задержки роста, мм, средняя
Водно-дисперсионная (акриловая) (УП «Арсен», Беларусь)				
«Полицвет» ВД-АКД белая	4	–	4	–
«Полицвет» ВД АК-11Д оранжевая	4	–	3,7	–
«Полицвет» ВД АК-11Д зеленая	4	–	4	–
ВД АК-11Л	4	–	4	–

Заключение. В результате исследований изучена биостойкость органических основ ЛКМ, предназначенных для окрашивания древесины, к воздействию гриба *Aspergillus niger*. Показано, что

с увеличением времени выдержки происходит повышение уровня поражения органических основ красок мицелием гриба в средах Сабуро и Чапека, а также за время наблюдений не отмечена зона задержки роста мицелия. Наиболее интенсивно поражаются грибом органические основы как после 7 сут выдержки, так и в более поздние сроки, достигая максимальных значений поражений – 4 балла. Высокая деструктивная активность грибов рода *Aspergillus* объясняется мощным ферментативным аппаратом, проявляющимся в выделении лимонной, глюконовой и щавелевой кислот. Данные кислоты оказывают разрушающее воздействие на органические основы ЛКМ при достаточно низких концентрациях от 0,09 до 0,4% [34, 35]. Также деструктивное действие на ЛКМ оказывает и pH самих оснований, который колеблется от 4,0 до 6,7, так как эти значения являются оптимальными для развития грибов рода *Aspergillus*, а верхний предел их жизнедеятельности находится в диапазоне pH от 7,0 до 7,5 [35]. Полученные результаты имеют практический характер и показывают необходимость использования дополнительной защиты для древесины, поврежденной грибами рода *Aspergillus*, перед нанесением на нее органических основ лакокрасочных материалов.

Список литературы

1. Рыкунин С. Н., Кандалина Л. Н. Технология деревообработки. М.: Академия, 2005. 352 с.
2. Bulian F., Graystone J. A. Wood coatings theory and practice. Amsterdam: Elsevier Science, 2009. 320 p.
3. Guizzardi M., Carmeliet J., Derome D. Risk analysis of biodeterioration of wooden beams embedded in internally insulated masonry walls // Construction and Building Materials. 2015. P. 159–168.
4. Guzii S., Bazhelka I., Svitlychna N., Lashchivskiy V. Protection of Wood from Burning with Paints on Alkaline Aluminosilicates-Based // Materials Science Forum. 2020. P. 19–24.
5. Расев А. И., Косарин А. А., Красухина Л. П. Технология и оборудование защитной обработки древесины. М.: ГОУ ВПО МГУЛ, 2010. 171 с.
6. Allsopp D., Seal K. J., Gaylarde Ch. C. Introduction to biodeterioration. Cambridge: Cambridge University Press, 2004. 252 p.
7. Semenov S. A., Gumargaliev K. Z., Zaikov G. E. Biodegradation and durability of materials under the effect of microorganisms. Utrecht: VSP International Science, 2003. 199 p.
8. Stranger-Johannessen M., Norgaard E. Deterioration of anti-corrosive paints by extracellular microbial products // International Biodeterioration. 1991. Vol. 27, no. 2. P. 157–162.
9. Diversity and taxonomy of Chaetomium and chaetomium-like fungi from indoor environments / X. W. Wang [et al.] // Studies in Mycology. 2016. Vol. 84. P. 175–177.
10. Шаповалов И. В. Биоповреждение строительных материалов плесневыми грибами: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.23.05. Белгород, 2003. 155 с.
11. Стойе Д., Фрейтаг В. Краски, покрытия и растворители. СПб.: Профессия, 2007. 528 с.
12. Schultz T. P., Nicholas D. D. Solid Wood Processing. Protection of Wood against Biodeterioration // Encyclopedia of Forest Sciences. 2004. P. 1274–1282.
13. Arreche R., Vazquez P. Green biocides to control biodeterioration in materials science and the example of preserving World Heritage Monuments // Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry. 2020. 100359 p.
14. Богатов А. Д., Богатова С. Н., Ерофеев В. Т. Влияние старения в условиях воздействия фактора эксплуатационной среды на биологическое сопротивление материалов // Известия КГАСУ, 2011. № 4 (18). С. 212–218.
15. Smith J. E. Microbial spoilage of engineering materials: An old problem in a new perspective covered in a series of six articles Part 2: The extent of biodeterioration in industry // Tribology International. 1976. Vol. 9, no. 5. P. 225–230.

16. Сабадаха Е. Н., Прокопчук Н. Р., Шутова А. Д. Принципы снижения экологической нагрузки при окрашивании деревянной поверхности биозащитным лакокрасочным материалом // Труды БГТУ. 2016. № 4: Химия, технология органических веществ и биотехнология. С. 225–231.

17. Gámez-Espinosa, E., Natalia Bellotti, N., Deyá, C., Cabello, M. Mycological studies as a tool to improve the control of building materials biodeterioration // Journal of Building Engineering. 2020. P. 101738–101769.

18. Сабадаха Е. Н., Прокопчук Н. Р., Шутова А. Д. Повышение биозащитных свойств лакокрасочного покрытия за счет биостойкости и фунгитоксичности входящих в него компонентов: обзор литературы. Ч. 1 // Труды БГТУ. 2017. № 2: Химические технологии, биотехнология, геоэкология. С. 120–126.

19. Сабадаха Е. Н., Прокопчук Н. Р., Гончарова И. А. Влияние метаболитов грибов на физико-механические свойства лакокрасочных покрытий // Труды БГТУ. 2010. № 4: Химия, технология органических веществ и биотехнология. С. 306–309.

20. Горбань М. В., Ямпольская Т. Д. Физиологические аспекты деструкции синтетических и природных полимеров коллекционными и аборигенными штаммами микромицетов // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2012. Т. 14. № 1 (9). С. 67–78.

21. Odokuma L. O., Berebon D. P., Ogbonna C. B. Potential Biodeteriogens of Indoor and Outdoor Surfaces (Coated With Gloss, Emulsion and Textcoat Paints) // IOSR Journal of Pharmacy and Biological Sciences. 2013. Vol. 7, no. 1. P. 12–19.

22. Watkinson S. C., Eastwood D. C. *Serpula lacrymans*, wood and buildings // Advances in Applied Microbiology. 2012. Vol. 78. P. 121–149.

23. Аникина Н. А., Смирнов В. Ф. Исследование устойчивости полимерных материалов на основе акрилатов к действию микроскопических грибов // Вестник Нижегородского университета им. Н. И. Лобачевского. 2013. № 6 (1). С. 142–145.

24. Gillatt J., Julian K., Brett K. et al. The microbial resistance of polymer dispersions and the efficacy of polymer dispersion biocides – A statistically validated method // International Biodeterioration & Biodegradation. 2015. No. 104. P. 32–37.

25. Моргулец Е. Н., Прокопчук Н. Р., Гончарова И. А. Исследование влияния пигментов и водно-дисперсионных пленкообразователей на биостойкость лакокрасочных покрытий // Доклады НАН Беларуси. 2009. Т. 53. С. 65–68.

26. Биологическая устойчивость силикатных композиций на жидкостекольном связующем / Н. Н. Клименко [и др.] // Успехи в химии и химической технологии. 2012. Т. XXVI. № 6 (135). С. 35–37.

27. Souza A., Gaylarde C. C. Biodeterioration of varnished wood with and without biocide: implications for standard test methods // International Biodeterioration & Biodegradation. 2002. No. 49. P. 21–25.

28. Grant C., Wright I. C., Springle W. R., Greenhalgh M. Collaborative investigations of laboratory test methods for evaluation of the growth of pink yeasts on paint films // International Biodeterioration & Biodegradation. 1993. No. 32. P. 279–288.

29. Paints and varnishes – Laboratory method for testing the efficacy of film preservatives in a coating against fungi: SIST EN 15457:2014. Introduction 01.11.2014. Switzerland: International Organization for Standardization, 2014. 12 p.

30. General requirements for the competence of testing and calibration laboratories: ISO/IEC 17025: 2017. Introduction 29.11.2019. Switzerland: International Organization for Standardization, 2017. 30 p.

31. Chemical disinfectants and antiseptics – Quantitative suspension test for the evaluation of basic fungicidal or basic yeasticidal activity of chemical disinfectants and antiseptics – Test method and requirements (phase 1): EN 1275:2005. Introduction 07.12.2005. Switzerland: International Organization for Standardization, 2005. 44 p.

32. Paints and varnishes – Examination and preparation of test samples: EN ISO 1513:2010. Introduction 01.05.2010. Switzerland: International Organization for Standardization. 2010. 4 p.

33. Paints and varnishes and their raw materials – Temperatures and humidities for conditioning and testing (ISO 3270:1984): SIST EN 23270:1997. Introduction 01.12.1997. Switzerland: International Organization for Standardization, 1997. 4 p.

34. Строганов В. Ф., Сагадеев Е. В. Введение в биоповреждение строительных материалов. Казань: Изд-во КГАСУ, 2014. 200 с.

35. Строганов В. Ф., Сагадеев Е. В. Биоповреждение строительных материалов. Казань: Изд-во КГАСУ, 2018. 61 с.

References

1. Rykunin S. N., Kandalina L. N. *Tekhnologiya derevoobrabotki* [Woodworking technology]. Moscow, Academia Publ., 2005. 352 p. (In Russian).

2. Bulian F., Graystone J. A. Wood coatings theory and practice. Amsterdam, Elsevier Science Publ., 2009. 320 p.
3. Guizzardi M., Carmeliet J., Derome D. Risk analysis of biodeterioration of wooden beams embedded in internally insulated masonry walls. *Construction and Building Materials*, 2015, pp. 159–168.
4. Guzii S., Bazhelka I., Svitlychna N., Lashchivskiy V. Protection of Wood from Burning with Paints on Alkaline Aluminosilicates-Based. *Materials Science Forum*, 2020, pp. 19–24.
5. Rasev A. I., Kosarin A. A., Krasukhina L. P. *Tekhnologiya i oborudovaniye zashchitnoy obrabotki drevesiny* [Technology and equipment for protective wood processing]. Moscow, GOU VPO MGUL Publ., 2010. 171 p. (In Russian).
6. Allsopp D., Seal K. J., Gaylarde Ch. C. Introduction to biodeterioration. Cambridge, Cambridge University Press, 2004. 252 p.
7. Semenov S. A., Gumargalieva K. Z., Zaikov G. E. Biodegradation and durability of materials under the effect of microorganisms. Utrecht, VSP International Science Publ., 2003. pp. 199.
8. Stranger-Johannessen M., Norgaard E. Deterioration of anti-corrosive paints by extracellular microbial products. *International Biodeterioration*, 1991, vol. 27, no. 2. 157–162 p.
9. Wang X. W., Houbraken J., Groenewald J. Z., Meijer M., Andersen B., Nielsen K. F., Crous P. W., Samson R. A. Diversity and taxonomy of Chaetomium and chaetomium-like fungi from indoor environments. *Studies in Mycology*, 2016, vol. 84, pp. 175–177.
10. Shapovalov I. V. *Biopovrezhdeniye stroitel'nykh materialov plesnevymi gribami. Avtoreferat dissertatsii kandidata tekhnicheskikh nauk* [Bio-damage of building materials by mold fungi. Abstract of thesis PhD (Engineering)]. Belgorod, 2003. 155 p. (In Russian).
11. Stoye D., Freytag W. *Kraski, pokrytiya i rastvoriteli* [Paints, coatings and solvents]. St. Petersburg, Professiya Publ., 2007. 528 p. (In Russian).
12. Schultz T. P., Nicholas D. D. Solid Wood Processing. Protection of Wood against Biodeterioration *Encyclopedia of Forest Sciences*, 2004, pp. 1274–1282.
13. Arreche R., Vazquez P. Green biocides to control biodeterioration in materials science and the example of preserving World Heritage Monuments. *Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry*, 2020. 100359 p.
14. Bogatov A. D., Bogatova S. N., Erofeev V. T. Effect of aging under the influence of the operating environment factor on the biological resistance of materials. *Izvestiya KGASU* [Bulletin of the Kazan State University of Architecture and Civil Engineering], 2011, no. 4 (18), pp. 212–218 (In Russian).
15. Smith J. E. Microbial spoilage of engineering materials: An old problem in a new perspective covered in a series of six articles Part 2: The extent of biodeterioration in industry. *Tribology International*, 1976, vol. 9, no. 5, pp. 225–230.
16. Sabadakha E. N., Prokopchuk N. R., Shutova A. D. Principles of reducing the environmental load when painting a wooden surface with a bioprotective paint and varnish material. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2016, no. 4: Chemistry, organic matter technology and biotechnology, pp. 225–231 (In Russian).
17. Gámez-Espinosa, E., Natalia Bellotti, N., Deyá, C., Cabello, M. Mycological studies as a tool to improve the control of building materials biodeterioration. *Journal of Building Engineering*, 2020, pp. 101738–101769.
18. Sabadakha E. N., Prokopchuk N. R., Shutova A. D. Increasing the bioprotective properties of the paint and varnish coating due to the biostability and fungitoxicity of its components: (literature review. Part 1). *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2017, no. 2: Chemical technology, biotechnology, geocology, pp. 120–126 (In Russian).
19. Sabadakha E. N., Prokopchuk N. R., Goncharova I. A. Influence of fungal metabolites on the physical and mechanical properties of paint and varnish coatings. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2010, no. 4: Chemistry, Organic Matter Technology and Biotechnology, pp. 306–309 (In Russian).
20. Gorban M. V., Yampolskaya T. D. Physiological aspects of the destruction of synthetic and natural polymers by collection and native strains of micromycetes. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra RAN* [Bulletin of the Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences], 2012, vol. 14, no. 1 (9), pp. 67–78 (In Russian).
21. Odokuma L. O., Berebon D. P., Ogbonna C. B. Potential Biodeteriogens of Indoor and Outdoor Surfaces (Coated With Gloss, Emulsion and Textcoat Paints). *IOSR Journal of Pharmacy and Biological Sciences*, 2013, vol. 7, no. 1, pp. 12–19.
22. Watkinson S. C., Eastwood D. C. *Serpula lacrymans*, wood and buildings. *Advances in Applied Microbiology*, 2012, vol. 78, pp. 121–149.
23. Anikina N. A., Smirnov V. F. Investigation of the stability of polymeric materials based on acrylates to the action of microscopic fungi. *Vestnik Nizhegorodskogo universiteta im. N. I. Lobachevskogo* [Bulletin of the Nizhny Novgorod University named after N. I. Lobachevsky], 2013, no. 6 (1), pp. 142–145 (In Russian).
24. Gillatt J., Julian K., Brett K. et al. The microbial resistance of polymer dispersions and the efficacy of polymer dispersion biocides – A statistically validated method. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 2015, no. 104, pp. 32–37.

25. Morgulets E. N., Prokopchuk N. R., Goncharova I. A. Investigation of the effect of pigments and water-dispersion film-formers on the biostability of paint and varnish coatings. *Doklady NAN Belarusi* [Reports of the NAS of Belarus], 2009, vol. 53, pp. 65–68 (In Russian).

26. Klimentenko N. N., Mikhailenko N. Yu., Babusenko E. S., Zhulanov M. M. Biological stability of silicate compositions based on liquid glass binder. *Uspekhi v khimii i khimicheskoy tekhnologii* [Advances in chemistry and chemical technology], 2012, vol. XXVI, no. 6 (135), pp. 35–37 (In Russian).

27. Souza A., Gaylarde C. C. Biodeterioration of varnished wood with and without biocide: implications for standard test methods. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 2002, no. 49, pp. 21–25.

28. Grant C., Wright I. C., Springle W. R., Greenhalgh M. Collaborative investigations of laboratory test methods for evaluation of the growth of pink yeasts on paint films. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 1993, no. 32, pp. 279–288.

29. SIST EN 15457:2014. Paints and varnishes – Laboratory method for testing the efficacy of film preservatives in a coating against fungi. Switzerland, International Organization for Standardization, 2014. 12 p.

30. ISO/IEC 17025: 2017. General requirements for the competence of testing and calibration laboratories. Switzerland, International Organization for Standardization, 2017. 30 p.

31. EN 1275:2005. Chemical disinfectants and antiseptics – Quantitative suspension test for the evaluation of basic fungicidal or basic yeasticidal activity of chemical disinfectants and antiseptics – Test method and requirements (phase 1). Switzerland, International Organization for Standardization, 2005. 44 p.

32. EN ISO 1513:2010. Paints and varnishes – Examination and preparation of test samples. Switzerland, International Organization for Standardization, 2010. 4 p.

33. SIST EN 23270:1997. Paints and varnishes and their raw materials – Temperatures and humidities for conditioning and testing (ISO 3270:1984). Switzerland, International Organization for Standardization, 1997. 4 p.

34. Stroganov V. F., Sagadeev E. V. *Vvedeniye v biopovrezhdeniye stroitel'nykh materialov* [Introduction to biodeterioration of building materials]. Kazan, KGASU Publ., 2014. 200 p. (In Russian).

35. Stroganov V. F., Sagadeev E. V. *Biopovrezhdeniye stroitel'nykh materialov* [Bio-damage to building materials]. Kazan, KGASU Publ., 2018. 61 p. (In Russian).

Информация об авторах

Копылова Тамара Игнатьевна – директор УП «Арсен» (220036, г. Минск, ул. Р. Люксембург, 90а-7а, Республика Беларусь). E-mail: ta3110@mail.ru

Гузий Сергей Григорьевич – кандидат технических наук, старший научный сотрудник кафедры физики и химии полимеров. Институт химии высокомолекулярных соединений НАН Украины (02160, г. Киев, Харьковское шоссе, 48, Украина). E-mail: sguziy2@gmail.com

Божелко Игорь Константинович – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой технологии деревообработки. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: bikbstu@mail.ru

Коновалова Анастасия Александровна – магистрант. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: anastasiyakonov@gmail.com

Сабадаха Елена Николаевна – кандидат технических наук, доцент кафедры полимерных композиционных материалов. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: elenasabadaha@mail.ru

Information about the authors

Kopylova Tamara Ignatievna – Director of the Unitary Enterprise Arsen (90a-7a, R. Luxemburg str., 220036, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: ta3110@mail.ru

Guzii Sergii Grygorovych – PhD (Engineering), Senior Researcher, the Department of Physical and Chemistry of Polymers. Institute of Macromolecular Chemistry of the National Academy of Sciences of Ukraine (48, Kharkovskoe sh., Kyiv, 02160, Ukraine). E-mail: sguziy2@gmail.com

Bazhelka Ihar Konstantirovich – PhD (Engineering), Associate Professor, Head of the Department of Woodworking Technology. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: bikbstu@mail.ru

Kanavalava Anastasiya Aleksandrovna – Master's degree student. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: anastasiyakonov@gmail.com

Sabadakha Elena Nikolaevna – PhD (Engineering), Assistant Professor, the Department of Polymer Composite Materials. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: elenasabadaha@mail.ru

Поступила 18.10.2021