

Научная статья
УДК 678, 579.6

МИКРОМИЦЕТЫ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ ДЛЯ ОЦЕНКИ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА СТОЙКОСТЬ К ВОЗДЕЙСТВИЮ ПЛЕСНЕВЫХ ГРИБОВ

Никита Семенович Штабнов¹, Артем Юрьевич Солдатов²,
Алексей Евгеньевич Шкуро³, Артем Вячеславович Артемов⁴

^{1, 2} Филиал ФГБУ «48 Центральный научно-исследовательский институт»
Министерства обороны Российской Федерации, Россия

^{3, 4} Уральский государственный лесотехнический университет,
Екатеринбург, Россия

¹ lol_hukutos@mail.ru

² timopheysky91@yandex.ru

³ shkuruae@m.usfeu.ru

⁴ artemovav@m.usfeu.ru

Аннотация. Масштабное использование полимерных и композиционных материалов, в том числе включающих в свой состав полимерное связующее, приводит к необходимости регулирования биостойкости материалов в зависимости от областей применения и жизненного цикла изделий. Для оценки биостойкости материалов стандартом ГОСТ 9.048–89 определен набор микроорганизмов, имеющих высокую деструктивную активность в отношении полимерных материалов. Данная работа посвящена описанию и систематизации деструктивных штаммов плесневых грибов. Описаны визуальные отличия штаммов, рассмотрены основные параметры колоний и оптимальная температура роста.

Ключевые слова: полимерные материалы, микромицеты, плесневые грибы, биостойкость

Для цитирования: Микромицеты, применяемые для оценки полимерных материалов на стойкость к воздействию плесневых грибов / Н. С. Штабнов, А. Ю. Солдатов, А. Е. Шкуро, А. В. Артемов // Эффективный ответ на современные вызовы с учетом взаимодействия человека и природы, человека и технологий = Effective reaction to modern challenges of the interaction between human and nature, human and technologies : материалы XVI Международной научно-технической конференции. Екатеринбург : УГЛТУ, 2025. С. 521–529.

Original article

MICROMYCETES USED FOR ASSESSING POLYMER MATERIALS FOR RESISTANCE TO MOLD FUNGI EXPOSURE

Nikita S. Shtabnov¹, Artem Yu. Soldatov², Alexey E. Shkuro³,
Artyom V. Artyomov⁴

^{1,2} Branch of the federal state budgetary institution “48 Central Research Institute” of the Ministry of Defense of the Russian Federation, Russia

^{3,4} Ural State Forest University, Ekaterinburg, Russia

¹ lol_hukutos@mail.ru

² timopheysky91@yandex.ru

³ shkuruae@m.usfeu.ru

⁴ artemovav@m.usfeu.ru

Abstract. The widespread using of polymer and composite materials, including those containing polymer binders, necessitates the regulation of the biodegradability of materials depending on their areas of application and the life cycle of the products. To assess the biodegradability of materials, the GOST 9.048-89 standard specifies a set of microorganisms with high destructive activity towards polymeric materials. This work is dedicated to the description and systematization of destructive strains of mold fungi. The visual differences between the strains are described, and the main parameters of the colonies and the optimal growth temperature are discussed.

Keywords: polymer materials, micromycetes, mold fungi, biological resistance

For citation: Mikromicety, primenyaemye dlya otsenki kompozitsionnykh materialov na stojkost k vozdejstviyu plesnevnykh gribov [Micromycetes used for assessing polymer materials for resistance to mold fungi exposure] (2025) N. S. Shtabnov, A. Yu. Soldatov, A. E. Shkuro, A. V. Artyomov. Effektivnyi otvet na sovremennye vyzovy s uchetom vzaimodeistviya cheloveka i prirody, cheloveka i tekhnologii [Effective reaction to modern challenges of the interaction between human and nature, human and technologies] : proceedings of the XVI International Scientific and Technical Conference. Ekaterinburg : USFEU, 2025. P. 521–529. (In Russ).

В настоящее время во многих сферах жизни человека для производства и изготовления различных товаров и изделий используются полимерные и композитные материалы [1]. В зависимости от области применения возникает необходимость регулирования их биостойкости с целью защитить материал в случае использования в критически важных устройствах с одной стороны или добиться уменьшения издержек на утилизацию – с другой. Исходя из вышеизложенного видится необходимым проведение лабораторных

исследований материалов на биостойкость и биodeградацию с последующим корректированием их состава для реализации требуемых свойств.

Материалы можно тестировать на биостойкость различными методами [2]. Ключевыми факторами, определяющими суть каждого метода, являются:

- биологические: микроорганизмы, грибы, бактерии, насекомые, грызуны;

- условия эксперимента: влажность, температура, кислотность среды, используемое оборудование, продолжительность испытаний;

- критерии оценки биodeградации: снижение прочности, изменение веса или структуры материала [3, 4].

В нашей стране действует ГОСТ 9.048–91 «Единая система защиты от коррозии и старения (ЕСЗКС). Изделия технические. Методы лабораторных испытаний на стойкость к воздействию плесневых грибов». Он применим как для собственно полимерных и композиционных материалов (изделий), так и для их компонентов. Оценка грибостойкости проводится по степени развития плесневых грибов и изменению характерных свойств пораженных материалов.

Данная работа проведена с целью обобщения и систематизации имеющихся данных о микромицетах, наиболее активных в отношении композиционных материалов на основе лигноцеллюлозного сырья. Для достижения данной цели были рассмотрены культурально-морфологические свойства стандартного набора микроорганизмов, применяемого для проведения лабораторных исследований образцов материалов и изделий на стойкость к развитию плесневых грибов.

Для проведения исследований на грибостойкость согласно ГОСТ 9.048–89 предлагаются к применению штаммы плесневых грибов, наиболее агрессивные в отношении к техническим изделиям, в том числе полимерных и композитных материалов [5].

Далее представлен сравнительный анализ применения штаммов плесневых грибов для возможной оценки композиционных материалов на стойкость [5–9].

ASPERGILLUS NIGER VAN TIEGHEM (рис. 1, а)

Колонии быстро разрастаются, достигая размера 2,5...3,5 см в течение десяти дней. Мицелий субстрата обильный, бесцветный, иногда с оттенком желтого, может образовывать сферические поверхностные склероции. Воздушный мицелий недоразвит, но в некоторых случаях может быть обильным. Конидиеносцы обычно имеют сферическую толстостенную выпуклость и гладкие волоски. Длина конидиеносцев варьируется от 200 до 400 мкм, а диаметр от 7 до 10 мкм. Ножка обычно практически бесцветна, но может иметь желтые или коричневые пятна на верхушке. Конидиальные головки черновато-коричневого или угольно-черного цвета изначально округлые, но позже удлиняются, достигая 700...800 мкм в диаметре. Стеригмы коричневатого или почти черного цвета расположены радиально,

в два яруса, и плотно упакованы на первом ярусе. Они бывают разных размеров, от 10 до 120 мкм в длину. Стеригмы второго яруса обычно 6...10 мкм в длину, 2...3 мкм в ширину и более однородны.

Зрелые конидии коричневые. Поверхность может быть гладкой или слегка шероховатой из-за пигмента, откладывающегося на оболочке. Преимущественно шаровидной формы, с тонкой оболочкой, хотя эта особенность присутствует не всегда. Штамм широко распространен на полимерных материалах в умеренном климате. Является продуцентом различных физиологически активных веществ. Может расти при температурах от 0 до 45 °С. Оптимальной для развития штамма является температура порядка 30 °С.

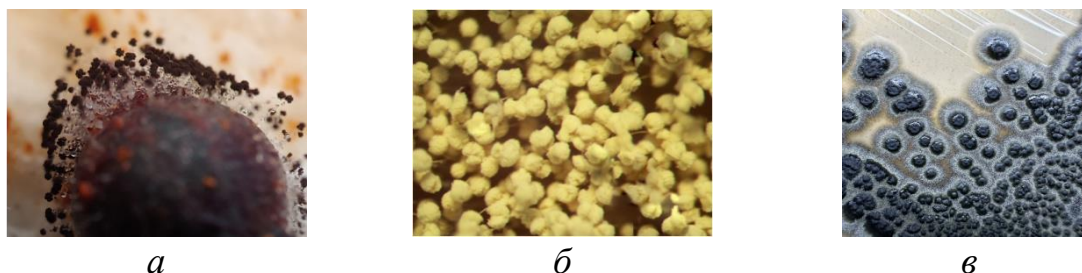


Рис. 1. Микромицеты, применяемые для оценки полимерных материалов на стойкость к воздействию плесневых грибов: *a* – *Aspergillus niger van tieghem* [7]; *б* – *Aspergillus terreus Thom* [8]; *в* – *Aureobasidium pullulans (de Bary) Arnaud* [8]

ASPERGILLUS TERREUS THOM (рис. 1, б)

Колонии интенсивно растут и за 10 дней достигают 3,5–5 см в диаметре, с бархатистой, пушистой поверхностью и неровными краями. Конидиальные головки образуют столбики коричнево-желтого или оранжево-желтого цвета. Экссудат золотистый, с нестойким ароматом. Головки имеют небольшие размеры: 20...50 мкм в диаметре и 150...500 мкм в длину. Конидиеносцы представляют собой тонкие и бесцветные структуры длиной 100...250 мкм и шириной 4...6 мкм. Стеригмы имеют двухъярусную структуру и достигают длины 5...7 мкм, а их ширина составляет 2...2,5 мкм. Конидии представляют собой гладкие образования сферической или эллиптической формы с диаметром 2,0...2,5 мкм. Этот вид можно обнаружить на складах, где хранятся полимеры, на открытом воздухе он обитает только в летний период. Грибы физиологически активны, разрушают целлюлозу. Оптимальная температура роста – около 35 °С, минимальная – 7 °С, максимальная – 45 °С.

AUREOBASIDIUM PULLULANS (DE BARY) ARNAUD (рис. 1, в)

Рост на среде Чапека затруднен. На сусло-агаре после 10 дней роста размеры колоний составляют 4...5 см, поверхность гладкая, цвет – от желтоватого до кремового с оттенками розового или коричневого. При активном формировании конидий, пленка темнеет, приобретая темно-коричневый или черный оттенок с радиальными прожилками. Образование хламидоспор обильное, темного цвета. Мицелий погруженный в воду, плотный,

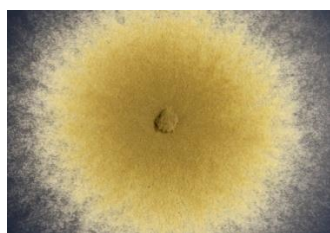
темно-коричневый. Гифы пигментированны, их поверхность гладкая, а стенки толстые. Диаметр гиф составляет 2...16 мкм. Конидии формируются на неразветвленных гифах или на коротких боковых ответвлениях. Блестоконидии образуются и распространяются на всех клетках поверхности. Конидии эллипсоидной формы размерами 5...16 мкм в длину и 3...7 мкм в ширину, пигментации не имеют. Зачастую содержат капли масла в цитоплазме. Вторичные конидии меньше. Микромицеты обладают высокой ферментативной активностью. Оптимальная температура развития штамма 22 °С, минимальная – около 5 °С, а максимальная – 32 °С.

PAECILOMYCES VARIOTII BAINIER (рис. 2, а)

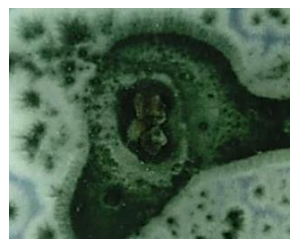
Колонии, выращенные на агаризованном сусле, быстро достигают диаметра 6...7 см на десятый день. Они имеют войлочную структуру с мучнистыми, пушистыми или пучковыми конидиеносцами, покрыты коремиями и мицелием. Цвет колоний варьируется от тёмно-оливкового до светло-желтого, со временем темнеют, обладают приятным запахом и выделяют мало экссудата. Колонии с обратной стороны имеют желтоватый или темно-коричневый оттенок из-за присутствия чёрных хламидоспор.

Вегетативные гифы, которые представляют собой нитевидные структуры, могут быть светлыми, гладкими или покрытыми наростами. Их ширина составляет от 3 до 5,5 мкм, а края утолщены до 20 мкм.

Конидиеносцы – это особые структуры, которые образуются на концах гиф. Они могут быть гладкими или шероховатыми. Длина конидиеносцев 35...90 мкм, а диаметр – от 3 до 7 мкм. На каждом конидиеносце может образовываться от 2 до 7 фиалид – специализированных структур, которые служат для размножения гриба. Фиалиды имеют цилиндрическую или эллипсоидную основу и шейку в форме цилиндра длиной до 2 мкм. Фиалиды могут быть одиночными или находиться в составе метул (кисточек). Конидии светлые, гладкие, длиной 3,5...15 мкм и диаметром 2...5 мкм. Хламидоспоры одиночные или имеют сферическую форму и размер от 4 до 8 мкм. Их поверхность может быть гладкой или шероховатой. Эти грибы часто обнаруживаются на полимерных материалах и отличаются высокой приспособляемостью к условиям окружающей среды. Оптимальная температура для их размножения 30 °С, минимальная – 5 °С, максимальная – 50 °С.



а



б

Рис. 2. Микромицеты, применяемые для оценки полимерных материалов на стойкость к воздействию плесневых грибов:

а – *Paecilomyces variotii* Bainier [9]; б – *Penicillium funiculosum* [7]

PENICILLIUM FUNICULOSUM THOM (рис. 2, б)

На среде Чапека развиваются активно, диаметра 4,5...5,5 см достигают на десятый день. Представляют собой плотное войлочное сплетение мицелия с заметными нитями гиф. Цвет зависит от окраски мицелия и может меняться в широких пределах (от белого до розового и красного). Цвет обратной стороны сначала жёлтый, а затем красный. Конидии образуются нерегулярно, желтовато-зелёного или серовато-желто-оливкового цвета. Конидиеносцы короткие, отходят от гифальных нитей под прямым углом. Их длина составляет 10...300 мкм, а диаметр – 2,5...3,3 мкм. Кисточки двухъярусные, симметричные, их размер составляет (10...13) × (2,0...3,0) мкм. Конидии имеют шарообразную форму, они гладкие или слегка шероховатые. Размер конидий – (2,5...3,5) × (2...2,5) мкм, в цепочках они могут достигать 100 мкм. Грибы распространены на полимерах, легко адаптируются и обладают высокой ферментативной активностью. Оптимальная температура для них – 28 °С, минимальная 5 °С, максимальная 37 °С.

PENICILLIUM OCHROCHLORON BUIOURGE (рис. 3, а)

Колонии на среде Чапека быстро растут, достигая к 10-у дню диаметра 4...5 см. Поверхность представляет собой плотный, шелушащийся слой базидиальных гиф глубиной 0,5...1 мм. Изначально белые, они быстро темнеют до темно-желтого или мясисто-красного цвета. Имеют борозды в центре. Экссудат бесцветный, со слегка кисловатым ароматом. Цвет нижней стороны варьируется от темно-желтого до темно-красного. Ближе к краям интенсивность желтого увеличивается. Кисточки различаются по длине и компактности. Столбиков не образуют. Конидиеносцы напоминают веточки, длиной 300...500 мкм, иногда отделяются от основы, достигая диаметра 100 мкм. Поверхность слегка шероховатая. Ветви с метулами длиной до 20 мкм также имеют шероховатость. Конидии имеют форму эллипса, они могут быть гладкими или иметь очень слабые выросты. Часто встречаются на полимерных материалах в различных экологических условиях. Обладают высокой способностью к ферментации. Оптимальная температура для их роста около 26 °С, минимальная около 4 °С, а максимальная 37 °С.



Рис. 3. Микромицеты, используемые для оценки полимерных материалов на стойкость к воздействию плесневых грибов:

а – *Penicillium ochrochloron* [9]; б – *Scopulariopsis brevicaulis* [8];
в – *Aureo Trichoderma viride Pers. ex S. F. Gray* [7]

SCOPULARIOPSIS BREVICAULIS (SACCARDO) BAINIER (рис. 3, б)

Колонии этого вида микромицетов имеют распростёртую и быстрорастущую форму, беловатого оттенка в начале развития, затем тёмно-жёлтого, орехово-коричневого или кофейного оттенка, с размытыми и мягкими контурами, поверхность напоминает бархат. Споры, которые также называют фиалидами, могут отделяться от гиф поодиночке или группами по 2–3 штуки, прикрепляясь к коротким ножкам. Споры-конидии имеют размер от 10 до 25 мкм и могут быть прозрачными или бледно-коричневыми. Их форма неправильная, а сами они могут ветвиться. На одном конидиеносце обычно расположено от 2 до 5 веточек (метул) и стеригм размером 10...20 мкм в длину и 3...4 мкм в ширину. Споры конидии по форме напоминают лимон или яйцо с плоским основанием. В начале они гладкие, но затем покрываются грубыми бородавками. Цвет может быть от светло-коричневого до тёмно-коричневого. Размер конидий составляет от 5 до 9 мкм в длину и от 4 до 7 мкм в ширину. Этот вид микроскопических грибов часто встречается на синтетических полимерных материалах и может приспосабливаться к разнообразным условиям окружающей среды. Он также производит ферменты. Для оптимального роста этому виду микроскопических грибов требуется температура около 28 °С. Минимальная температура, при которой он может расти, составляет примерно 6 °С, а максимальная – около 35 °С.

TRICHODERMA VIRIDE PERSONA EX S. GRAY (рис. 3, в)

Колонии этого гриба быстро растут и достигают 10 см в диаметре уже на десятый день. Мицелий белый и слабый, поверхность колонии покрыта нежным пушком. При формировании конидий колонии становятся тёмно-зелёными, а обратная сторона может быть неокрашенной или желтовато-коричневой. Мицелий имеет диаметр 1,5...12 мкм, гладкий и разветвлённый. Хламидоспоры имеют форму шара или эллипса, их размер может достигать 14 мкм в диаметре. Они располагаются на коротких боковых веточках. Конидиеносцы образуют подушечки толщиной около 4 мкм. На этих подушечках могут быть расположены одиночные или сгруппированные боковые веточки. Стеригмы образуют ложные мутовки, которые могут быть прямыми или слегка изогнутыми. Их длина составляет 8...14 мкм. Конидии имеют форму шара или яйца. Они угловатые и шероховатые, их размер составляет 4...5 мкм в длину и 3...6 мкм в диаметре. Грибы этого вида разрушают полимерные материалы, проявляют активность в диапазоне от 4 до 35 °С при оптимуме 26 °С.

Таким образом, в результате работы были рассмотрены и охарактеризованы основные типы плесневых грибов, применяемых для проведения лабораторных исследований образцов полимерных и композиционных материалов на биостойкость. Были кратко описаны культурально-морфологические свойства стандартного набора микроорганизмов по ГОСТ 9.048–89 и их деструктивная активность. В заключение следует отметить важность

получения новых данных о биостойкости материалов на основе лигноцеллюлозного сырья для создания перспективных образцов композитных материалов.

Список источников

1. Исследование физико-механических характеристик биокompозитов с наполнителем из древесной муки / Н. Р. Галяветдинов, Р. Р. Сафин, Г. Ф. Илалова, А. А. Прокопьев // Системы. Методы. Технологии. 2023. № 3 (59). С. 94–99. DOI: 10.18324/2077-5415-2023-3-94-99.

2. Захаров П. С., Чирков Д. Д., Шкуро А. Е. Получение и исследование свойств древесно-полимерных композитов с повышенной биостойкостью // Деревообрабатывающая промышленность. 2021. № 4. С. 91–98.

3. Варченко Е. А. Особенности оценки биоповреждений и биокоррозии материалов в природных средах // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2014. № 104. С. 1987–2004.

4. Методика для оценки степени биоразлагаемости пластиков на основе лигноцеллюлозосодержащего сырья без добавления связующих веществ / А. В. Артемов, А. С. Ершова, А. Е. Шкуро, В. Г. Бурындин // Лесотехнический журнал. 2024. Т. 14, № 1(53). С. 134–150. DOI: 10.34220/issn.2222-7962/2024.1/8.

5. ГОСТ 9.048–89. Изделия технические. Методы лабораторных испытаний на стойкость к воздействию плесневых грибов. Введ. 26.06.1989. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200014811> (дата обращения: 15.10.2024).

6. Лугаускас А. Ю., Микульскене А. И., Шляужене Д. Ю. Каталог микроицетов-биодеструкторов полимерных материалов; отв. ред. М. В. Горленко; Акад. наук СССР, Секция хим.-технолог. и биол. наук, Науч. совет по биоповреждениям, Ин-т ботан. Акад. наук ЛитССР.

7. *Penicillium ochrocloron* Biourge. URL: <https://www.gbif.org/species/2597616> (дата обращения: 12.10.2024).

8. Скопулариопсис // Википедия. URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Скопулариопсис> (дата обращения: 13.10.2024).

9. Naturdata : [сайт]. URL: <https://naturdata.com> (дата обращения: 16.10.2024).

References

1. Investigation of the physical and mechanical characteristics of bio-composites with wood flour filler / N. R. Galyavetdinov, R. R. Safin, G. F. Ilalova, A. A. Prokopyev // Systems. Methods. Technologies. 2023. № 3 (59). P. 94–99. DOI: 10.18324/2077-5415-2023-3-94-99.

2. Zakharov P. S., Chirkov D. D., Shkuro A. E. Obtaining and studying the properties of wood polymer composites with increased biostability // The wood-working industry. 2021. № 4. P. 91–98.

3. Varchenko E. A. Features of the assessment of biological damage and biocorrosion of materials in natural environments // Polythematic network electronic Scientific Journal of the Kuban State Agrarian University. 2014. № 104. P. 1987–2004.

4. Methodology for assessing the degree of biodegradability of plastics based on lignocellulose-containing raw materials without the addition of binders / A. V. Artemov, A. S. Ershova, A. E. Shkuro, V. G. Buryndin // Forestry Journal. 2024. Vol. 14, № 1 (53). P. 134–150. DOI: 10.34220/issn.2222-7962/2024.1/8.

5. GOST 9.048–89. Technical products. Methods of laboratory tests for resistance to mold fungi. Introduction. 26.06.1989. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200014811> (accessed: 10/15/2024).

6. Catalog of micromycetes-biodestructors of polymer materials A. Y. Lugauskas, A. I. Mikulskene, D. Y. Shlyauzhene ; ed. by M. V. Gorlenko ; Academy of Sciences of the USSR, Section chemical technological and biological sciences, Scientific Biodamage Council, Inst. of botany, Academy of Sciences, LitSSR.

7. *Penicillium ochrochloron* Biourge. URL: <https://www.gbif.org/species/2597616> (accessed: 12.10.2024).

8. *Scopulariopsis* // Wikipedia. URL: <https://ru.wikipedia.org> (accessed: 10.13.2024).

9. Naturdata : [website]. URL: <https://naturdata.com> (accessed: 10.16.2024).