

МИКОЛИЗ ДРЕВЕСИНЫ, ЕГО ПРОДУКТЫ И ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ

I. ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ МИКОЛОГИЧЕСКОГО РАЗРУШЕНИЯ ДРЕВЕСИНЫ

Г.Н. Кононов, А.Н. Веревкин, Ю.В. Сердюкова, В.Д. Зайцев

МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), 141005, Московская обл., г. Мытищи, ул. 1-я Институтская, д. 1

kononov@mgul.ac.ru

Статья посвящена вопросам экологии миколиза древесины. Рассмотрены основные виды ксилофитов хвойных и лиственных древесных пород. Приведены сведения о распространенности дереворазрушающих грибов, относящихся к различным систематическим группам на основных лесообразующих породах, и о продолжительности полного разрушения древесины под их воздействием в лесах европейской части России. Проанализировано влияние фунгитоксичных соединений древесины на дереворазрушающую способность ксилофитов и влияние минерального питания на их активность. Данная статья является первой в цикле «Миколиз древесины, его продукты и их использование», в котором планируется опубликовать ряд статей: «II. Биолого-морфологические процессы микологического разрушения древесины»; «III. Физиология и биохимия миколиза древесины»; «IV. Компонентный состав микологически разрушенной древесины»; «V. «Бурая гниль» древесины как природный композит и источник полупродуктов»; «VI. «Белая гниль» древесины как волокнистый полуфабрикат и химическое сырье»; «VII. «Дереворазрушающие грибы как продуценты биологически активных веществ».

Ключевые слова: базидиомицеты, ксилофиты, дереворазрушающие грибы, миколиз, «гнили древесины»

Ссылка для цитирования: Кононов Г.Н., Веревкин А.Н., Сердюкова Ю.В., Зайцев В.Д. Миколиз древесины, его продукты и их использование. I. Экологические аспекты микологического разрушения древесины // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2020. Т. 24. № 2. С. 81–87. DOI: 10.18698/2542-1468-2020-2-81-87

О масштабах процесса синтеза и разложения органических веществ в зональных типах лесов можно судить по объему годового прироста и опада древесной фитомассы. Так, для смешанных лесов эти показатели колеблются в пределах 7...20 т/га и 2...7 т/га соответственно [1]. Среди лесообразующих пород европейской части Российской Федерации наиболее продуктивной является береза. При возрасте древостоя 70 лет, в 1,5–3 раза меньшего, чем у других лесообразующих пород (ели, сосны), масса ее стволовой древесины в некоторых случаях в 2 раза превышает их массу, при этом до 50 % углерода, ассимилируемого при фотосинтезе, у этой древесной породы закрепляется в составе древесины, впоследствии разлагаемой в естественных условиях под действием различных факторов [2]. Наиболее мощным из этих факторов является микологический, подразумевающий деятельность дереворазрушающих грибов, подвергающих древесину так называемому гниению, т. е. миколизу — процессу деградации компонентов лигноуглеводного комплекса древесины под действием ферментов дереворазрушающих грибов, приводящему к образованию «гнилей древесины» [3].

В США ежегодные убытки от «гниения» древесины составляют 300 млн дол. В Западной Европе ежегодные потери деловой древесины только вследствие поражения лесов корневой губкой достигают 15...20 млн евро. Из общего количества заготавливаемой в Российской Федерации деловой древесины 20 % расходуется

только для того, чтобы восполнить ее потери от микологического разрушения [4, 5]. Поэтому изучение возможности использования микологически разрушенной древесины является актуальной задачей.

В настоящее время дереворазрушающие грибы рассматриваются в качестве перспективных продуцентов некоторых ценных для человека продуктов. Особый интерес к определенной группе грибов вызывает наличие у них экзоферментных комплексов, осуществляющих разложение основных компонентов древесины [6]. Создание технологии получения углеводов, фенольных соединений и некоторых других веществ на основе использования экзоферментов этих базидиомицетов открывает огромные возможности. С другой стороны, некоторые ксилофиты используются человеком в пищу [7, 8]. В ближайшее время может возникнуть необходимость в технологии искусственного выращивания съедобных ксилофитов, в целях получения белков и других биологически активных веществ, что, несомненно, требует сведений, касающихся самых различных сторон экологии этих организмов [9], являющихся одним из рекордсменов в живой природе уступающим только деревьям. Так микориза одного из ксилофитов — опенка темного, произрастающего в штате Орегон (США) — занимает площадь 889 га (1200 футбольных полей), имеет массу в 1000 т, возраст — около 2500 лет, а в 1 см³ почвы содержится до 20 км гиф этого гриба [10].

Цель работы

Целью работы является анализ влияния экологических факторов на активность основных ксилофитов лесобразующих древесных пород и процессы микологического разрушения ими древесины.

Материалы и методы

В Российской Федерации описано более 850 видов базидальных дереворазрушающих грибов [11]. В разложении древесины основных лесобразующих пород — сосны, ели, лиственницы, кедра, пихты, березы, осины, липы, дуба, граба участвуют около 90 % всех изученных видов. Наибольшее количество (более 200 видов) грибов связано с разложением древесины березы, сосны и ели (табл. 1) [12, 13].

Т а б л и ц а 1

Распределение дереворазрушающих грибов по древесным породам

Distribution of wood-destroying fungi by tree species

Древесная порода	Трутовые (Polyporaceae)	Кортициевые (Corticiumaceae)	Ежевиковые (Hydnaceae)	Агариковые (Agaricales)
Лиственница	$\frac{62}{0}$	$\frac{15}{0}$	—	$\frac{18}{5}$
Сосна	$\frac{108}{8}$	$\frac{72}{16}$	$\frac{14}{6}$	$\frac{20}{10}$
Ель	$\frac{113}{9}$	$\frac{46}{7}$	$\frac{20}{0}$	$\frac{21}{3}$
Береза	$\frac{103}{4}$	$\frac{32}{4}$	$\frac{29}{2}$	$\frac{69}{23}$

Примечание. В числителе — общее число видов, в знаменателе — число доминирующих видов.



1



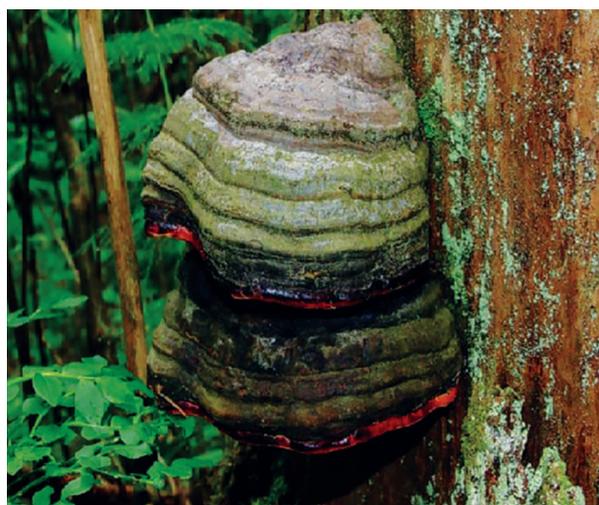
2

Рис. 1. Основные грибы-разрушители древесины березы: 1 — трутовик настоящий («белая гниль»); 2 — березовая губка («бурая гниль»)

Fig. 1. The main destructive mushrooms of birch wood: 1 — real tinder fungus («white rot»); 2 — birch polyporus («brown rot»)



1



2

Рис. 2. Основные грибы-разрушители древесины хвойных пород: 1 — корневая губка («пестрая гниль»); 2 — окаймленный трутовик («бурая гниль»)

Fig. 2. The main coniferous wood destructive fungi: 1 — mottle butt rot («mottled rot»); 2 — red belt fungus («brown rot»)

Из приведенных в табл. 1 данных видно, что наибольшее количество дереворазрушителей (233 вида) поселяются на березе, что делает ее наиболее уязвимой с точки зрения сохранности древостоя в естественных условиях [14].

Рассматривая группировки грибов в функциональном аспекте, можно выделить в их составе доминирующие виды. По численности плодовых тел можно судить о значимости вида гриба в рассматриваемом процессе миколиза. Доминирующие виды являются основными видами, от деятельности которых прежде всего зависит протекание процесса разрушения древесины. Так, численность плодовых тел настоящего трутовика и березовой губки в зрелом березняке составляет соответственно 123 и 90 шт./га [15]. Численность всех других видов разрушителей древесины березы в сумме составляет 118 шт./га [16]. Естественно, что в данных условиях основными разрушителями древесины березы являются трутовик настоящий (*Fomes fomentarius*) и березовая губка (*Piptoporus betulinus* (Fr.) Karst) (рис. 1). Аналогичные исследования свидетельствуют о том, что хвойные породы наиболее часто поражаются корневой губкой (*Fomitopsis annosa*) и окаймленным трутовиком (*Fomitopsis pinicola*) (рис. 2) [17].

Результаты и обсуждение

В лесах европейской части России разложение древесины сосны продолжается 15...20 лет, ели — 8...12 лет, а березы всего — 4...6 лет. Это является следствием того, что древесина березы не содержит соединений фунгицидного характера в отличие от древесины хвойных пород, содержащих большое количество терпеноидов [18, 19].

Большое значение в процессах миколиза имеет реакция грибов на фунгитоксичные соединения, содержащиеся в древесине. Фунгитоксичные соединения древесины можно разделить на две группы: дубильные вещества, оказывающие на грибы общетоксичное действие, и специфически токсичные соединения — терпеноиды.

Ингибирующее действие ароматических соединений на рост грибов «белой гнили», к которым относятся дубильные вещества, усиливается при введении в их молекулы гидроксильных и метоксильных групп. Фунгитоксичность многоатомных фенолов возрастает с увеличением числа гидроксильных групп, а фенольные эфиры, особенно моноэфиры, более токсичны в отношении грибов по сравнению с фенолами.

Установлено, что грибы «белой гнили» более устойчивы к фунгитоксичным веществам фенольной природы, чем грибы, вызывающие «бурую гниль», вследствие продуцирования ими полифенолоксидаз, разрушающих лигнин. Они менее

Т а б л и ц а 2

Влияние экстрактивных веществ коры и заболонной древесины березы на рост трутовых грибов

The effect of birch bark and sapwood extractives on the Poliporaceae growth

Вид гриба	Экстрактивные вещества	Снижение роста грибов при добавлении водных и спиртовых экстрактов, %		
		Вода при 20 °С	Вода при 100 °С	Спирт при 78 °С
Трутовик плоский (<i>Ganoderma applanatum</i>)	кора	37,0	71,0	—
Трутовик заборный (<i>Glocophyllum sepiarium</i>)	кора	45,0	80,0	52,0
Трутовик плоский (<i>Ganoderma applanatum</i>)	древесина	46,0	37,0	34,0
Трутовик заборный (<i>Glocophyllum sepiarium</i>)	древесина	38,0	39,0	40,0

чувствительны к таким фенольным соединениям, как танины, галловая кислота, α -нафтол, α -нафталин, по сравнению с грибами, вырабатывающими эти ферменты [20].

В разрушении древесины по типу «белой гнили» особое место занимают трутовые грибы, играющие в этом процессе исключительную роль. Для этих грибов, в основном являющихся паразитами, характерно то, что, когда дерево погибает, они развиваются на древесине уже как сапрофиты, продолжая процесс делигнификации древесины. К таким грибам относится трутовик плоский (*Ganoderma applanatum*), трутовик заборный (*Glocophyllum sepiarium*), а также опенок настоящий (*Armillaria mellea*) (рис. 3) [21, 22]. Некоторые экстрактивные вещества тормозят их рост (табл. 2).

Из приведенных данных следует, что экстрактивные вещества, извлекаемые даже холодной водой из древесины и коры березы, сильно тормозят рост дереворазрушающих грибов. Следствием этого, по-видимому, является активизация их роста на умершем дереве в качестве сапрофитов, нежели на ослабленном, но живом в качестве паразитов, в котором содержание этих веществ велико. После отмирания древесных тканей и разрушения древесины происходит вымывание этих веществ атмосферными осадками



1

2

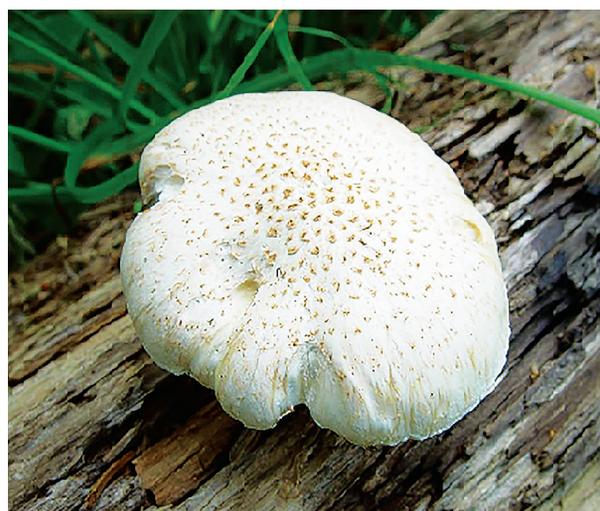
3

Рис. 3. Грибы-паразиты «белой гнили» березы: 1 — трутовик плоский; 2 — трутовик заборный; 3 — опенок настоящий

Fig. 3. Parasitic fungi of «white rot» of birch: 1 — polypore; 2 — tinder fungus, 3 — honey agaric



1



2

Рис. 4. Грибы сапрофиты белой гнили березы: 1 — вешенка обыкновенная; 2 — пилолистник тигровый

Fig. 4. Mushrooms saprophytes white rot of birch: 1 — oyster mushroom; 2 — Panus tigrinus

и рост грибов активизируется, но кора при этом практически не разрушается. Эти процессы характеризуют разрушение сухостойной древесины [23].

Дереворазрушающая активность сапрофитов варьируется в зависимости от состава питательной среды [24]. Наиболее интенсивно грибы разлагают древесину на среде с лесной почвой. Изучение разложения древесины на этой среде позволяет выделить в первом приближении грибы активно разрушающие валежную древесину. К ним можно отнести вешенку обыкновенную и пилолистник тигровый (рис. 4, табл. 3) [25].

Дереворазрушающая активность грибов зависит от их минерального питания (рис. 5) [26].

Таблица 3

Динамика разложения древесины березы грибами на среде с лесной почвой

The dynamics of decomposition of birch wood by fungi in an environment with forest soil

Вид гриба	Длительность действия грибов на древесину, сут		
	60	120	180
Потеря массы древесины, %			
Вешенка обыкновенная (<i>Pleurotus ostreatus</i>)	23,7	64,6	70,8
Пилолистник тигровый (<i>Lentinus tigrinus</i>)	27,9	32,6	63,6

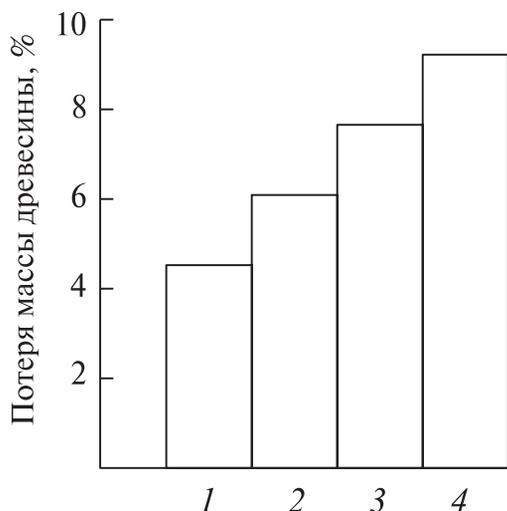


Рис. 5. Влияние элементов минерального питания на дереворазрушающую активность грибов белой гнили. Древесина пропитанная: 1 — дистиллированной водой; водными растворами: 2 — FeSO_4 ; 3 — KCl ; 4 — NaNO_3

Fig. 5. The influence of mineral nutrition elements on wood-destroying activity of white rot fungi. Impregnated wood: 1 — distilled water; aqueous solutions: 2 — FeSO_4 ; 3 — KCl ; 4 — NaNO_3

Очевидно, что наименее интенсивно грибы разрушают древесину, увлажненную только дистиллированной водой. Изучение распада древесины, увлажненной дистиллированной водой, позволяет в какой-то мере сделать заключение о скорости разложения сапрофитами сухостойной древесины.

Одним из важнейших минеральных источников питания для базидиальных дереворазрушающих грибов является азот (NaNO_3). Дифференцированное внесение в среду минеральных соединений, показало, что дереворазрушающая активность штаммов *Coriolus versicolor* наиболее интенсивно повышается при внесении в среду нитрата натрия в качестве источника азота. Сульфатное питание (FeSO_4) лишь незначительно повышает дереворазрушающую активность грибов. Более существенное влияние на их активность оказывает введение соединения калия (KCl). Комбинированное внесение питательных веществ при искусственном заражении древостоя позволит эффективнее активизировать рост дереворазрушающих грибов в целях получения либо волокнистых полуфабрикатов, обогащенных целлюлозой, либо лигниновых препаратов с большим содержанием низкомолекулярных фенолов, либо плодовых тел грибов, содержащих биологически активные вещества [27].

Выводы

1. Исследование микологически разрушенной древесины как потенциального химического сырья является перспективным направлением.

2. Разные классы фунгитоксичных соединений неодинаково влияют на активность грибов «бурой» и «белой гнили».

3. Дереворазрушающую активность грибов можно регулировать комбинированием минерального питания.

Список литературы

- [1] Стороженко В.Г., Чеботарев П.А., Коткова В.М., Чеботарева В.В. Дереворазрушающие грибы и гнилевые фауны спелых и перестойных дубрав Теллермановского леса (Воронежская область) // Грибные сообщества лесных экосистем / Ред. В.Г. Стороженко. Петрозаводск: Карельский НЦ РАН, 2018. С. 106–117.
- [2] Митрофанова Н.А., Чураков Б.П., Загидуллина Л.И., Парамонова Т.А., Володина Ю.О. Анализ фитосанитарного состояния лесов Ульяновской области // Изв. Самарского научного центра Российской Академии наук, 2009. Т. 11. № 1 (3). С. 381–383.
- [3] Кононов Г.Н. Дендрохимия. Химия, нанохимия и биогеохимия компонентов клеток, тканей и органов древесных растений. М.: МГУЛ, 2015. Т. II. 632 с.
- [4] Global review of forest pests and diseases // Rome: FAO, 2009, 236 p.
- [5] Пятакин В.И., Салминен Э.О., Бит Ю.А. Лесозэксплуатация. М.: Академия, 2006. 320 с.
- [6] Беккер З.Э. Физиология и биохимия грибов. М.: МГУ, 1988. 230 с.
- [7] Костромина Е.О., Чхенкели В.А. Получение препаратов на основе дереворазрушающих грибов // Бюллетень ВСНЦ СО РАМН, 2014 № 6 (100). С. 48–51
- [8] Шиврина А.Н. Биологически активные вещества высших грибов. М.: Наука, 1965. 202 с.
- [9] Infectious Forest Diseases / Eds. P. Gonthier, G. Nicolotti. CABI, 2013, 616 p.
- [10] Хофрихтер Р. Таинственная жизнь грибов. М.: Колибри, 2019. 224 с.
- [11] Федоров Н.И. Лесная фитопатология. Минск: Вышэйшая школа, 1987. 180 с.
- [12] Рабинович М.Л., Болобова А.В., Кондращенко В.И. Теоретические основы биотехнологии древесных композитов. В 2-х кн. Кн. I. Древесина и разрушающие её грибы. М.: Наука, 2001. 264 с.
- [13] Бурова Л.Г. Формирование группировок макромицетов в культурах сосны разного возраста // Лесоведение, 1973. № 1. С. 38–45.
- [14] Стороженко В.Г., Бондарцева М.А., Соловьев В.А., Крутов В.И. Научные основы устойчивости лесов к дереворазрушающим грибам. М.: Наука, 1992. 222 с.
- [15] Степанова Н.Т., Мухин В.А. Основы экологии дереворазрушающих грибов. М.: Наука, 1979. 100 с.
- [16] Ганбаров Х.Г. Эколого-физиологические особенности дереворазрушающих высших грибов. Баку: ЭЛИМ, 1990. 197 с.
- [17] Бондарцев А.С. Трутовые грибы европейской части СССР и Кавказа. М.: Изд-во АН СССР, 1953. 1107 с.
- [18] Zhilin Zhanga, Ting Yangab, Na Mic, Yong Wanga, Guoyuan Li, Lihua Wanga, Yongjian Xiec. Antifungal activity of monoterpenes against wood white-rot fungi // International Biodeterioration & Biodegradation, 2016, vol. 106, pp. 157–160.
- [19] Sumthong P., Romero-González R.R., Verpoorte R. Identification of Anti-Wood Rot Compounds in Teak (*Tectona grandis* L.f.) Sawdust Extract // J. Wood Chemistry and Technology, 2008, v. 28, pp. 247–260.

- [20] Valette N., Perrot T., Sormani R., Gelhaye E., Morel-Rouhier M. Antifungal activities of wood extractives // *Fungal Biology Reviews*, 2017, v. 31, no. 3, pp. 113–123.
- [21] Озолина Н.Р., Сергеева В.Н., Абрамович Ц.Л. Анатомические и химические изменения древесины березы пораженной грибами белой гнили // *Изв. АН Латвийской ССР*, 1987. № 12. С. 45–52.
- [22] Tapia C., Jimenez I., Medina J., Sapag-Hagar J., Gonzalez J., Gonzalez J. Evaluation of the Lignolytic Effect of the White-Rot Fungi *Ceriporiopsis* Sp, *Pleurotus* Sp, and *Phlebia* Sp on Industrial *Pinus Radiata* Logs // *J. Wood Chemistry and Technology*, 2005, v. 25, pp. 81–94.
- [23] Семенова И.Г., Соколова Э.С. *Фитопатология*. М.: Академия, 2003. 480 с.
- [24] Билай В.И. *Основы общей микологии*. Киев: Вища школа. 1980. 360 с.
- [25] Воронцов А.И. *Патология леса*. М.: Лесная пром-сть, 1978. 271 с.
- [26] Вакуров А.Д. Условия разрушения и сроки сохранности древесины в Северной тайге // *Лесной журнал*, 1974. № 17. С. 162–164.
- [27] Рипачек В. *Биология дереворазрушающих грибов*. М.: Лесная пром-сть, 1967. 258 с.

Сведения об авторах

Кононов Георгий Николаевич — канд. техн. наук, доцент МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), чл.-кор. РАЕН, ученый секретарь секции «Химия и химическая технология древесины» РХО им. Д.И. Менделеева, kononov@mgul.ac.ru

Веревкин Алексей Николаевич — канд. хим. наук, доцент МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), verevkin@mgul.ac.ru

Сердюкова Юлия Владимировна — ст. преподаватель МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), caf-htdip@mgul.ac.ru

Зайцев Владислав Дмитриевич — аспирант МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), kelertak@bk.ru

Поступила в редакцию 20.12.2019.

Принята к публикации 06.02.2020.

WOOD MYCOLYSIS, ITS PRODUCTS AND THEIR USE

I. ECOLOGICAL ASPECTS OF MYCOLOGICAL WOOD DESTRUCTION

G.N. Kononov, A.N. Verevkin, Yu.V. Serdyukova, V.D. Zaitsev

BMSTU (Mytishchi branch), 1, 1st Institutskaya st., 141005, Mytishchi, Moscow reg., Russia

kononov@mgul.ac.ru

The article is devoted to the issues of ecology of wood mycolysis. The main types of xylophytes of coniferous and deciduous trees are considered. Information is given on the distribution of wood-destroying fungi belonging to various systematic groups of the main forest-forming species, and the duration of complete destruction of wood under their influence in the forests of the European part of Russia. The effect of fungicidal compounds of wood on the wood-destructive ability of xylophytes and the effect of mineral nutrition on their activity are analyzed. This article is the first in a series of mycolysis of wood, its products and their use in which it is planned to publish more parts of the articles: «II. Biological and morphological processes of mycological destruction of wood»; «III. Physiology and biochemistry of wood mycolysis»; «IV. Component composition of mycologically destroyed wood»; «V. «Brown rot» as a source of intermediates»; «VI. «White rot» of wood as a chemical raw material».

Keywords: basidiomycetes, xylophytes, wood-destroying mushrooms, mycolysis, wood rot

Suggested citation: Kononov G.N., Verevkin A.N., Serdyukova Yu.V., Zaitsev V.D. *Mikoliz drevesiny, ego produkty i ikh ispol'zovanie. I. Ekologicheskie aspekty mikologicheskogo razrusheniya drevesiny* [Wood mycolysis, its products and their use. I. Ecological aspects of mycological wood destruction]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2020, vol. 24, no. 2, pp. 81–87. DOI: 10.18698/2542-1468-2020-2-81-87

References

- [1] Storozhenko V.G., Chebotarev P.A., Kotkova V.M., Chebotareva V.V. *Derevorazrushayushchie griby i gnilevye fauty spelykh i perestoynykh dubrav Tellermanovskogo lesa (Voronezhskaya oblast')* [Tree-destroying mushrooms and rotten fauts of ripe and overripe oak forests of the Tellerman Forest (Voronezh Region)]. *Gribnye soobshchestva lesnykh ekosistem* [Mushroom communities of forest ecosystems]. Ed. V.G. Storozhenko. Petrozavodsk: Karelian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, 2018, pp. 106–117.
- [2] Mitrofanova N.A., Churakov B.P., Zagidullina L.I., Paramonova T.A., Volodina Yu.O. *Analiz fitosanitarnogo sostoyaniya lesov Ul'yanovskoy oblasti* [Analysis of the phytosanitary condition of forests of the Ulyanovsk region]. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiyskoy Akademii nauk* [Bulletin of the Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences], 2009, v. 11, no. 1 (3), pp. 381–383.

- [3] Kononov G.N. *Dendrokimiya. Khimiya, nanokhimiya i biogeokhimiya komponentov kletok, tkaney i organov drevesnykh rasteniy. V. 2.* [Dendrochemistry. Chemistry, nanochemistry and biogeochemistry of cell components, tissues and organs of woody plants. In 2 v. V. 2]. Moscow: MSFU, 2015, v. 2, 626 p.
- [4] Global review of forest pests and diseases. Rome: FAO, 2009, 236 p.
- [5] Patyakin V.I., Salminen E.O., Bit Yu.A. *Lesoekspluatatsiya* [Forest exploitation]. Moscow: Academy, 2006, 320 p.
- [6] Bekker Z.E. *Fiziologiya i biokhimiya gribov* [Physiology and biochemistry of mushrooms]. Moscow: MSU, 1988, 230 p.
- [7] Kostromina E.O., Chkhenkeli V.A. *Poluchenie preparatov na osnove derevorazrushayushchikh gribov* [Obtaining preparations based on wood-destroying mushrooms]. Byulleten' VSNTs SO RAMN [Bulletin of the All-Russian Scientific Research Center SB RAMS], 2014, no. 6 (100), pp. 48–51.
- [8] Shivrina A.N. *Biologicheski aktivnye veshchestva vysshikh gribov* [Biologically active substances of higher fungi]. Moscow: Science, 1965, 202 p.
- [9] Infectious Forest Diseases. Eds. P. Gonthier, G. Nicolotti. CABI, 2013, 616 p.
- [10] Khofrikhter R. *Tainstvennaya zhizn' gribov* [The mysterious life of mushrooms]. Moscow: Hummingbird, 2019, 224 p.
- [11] Fedorov N.I. *Lesnaya fitopatologiya* [Forest phytopathology]. Minsk: High School, 1987, 180 p.
- [12] Rabinovich M.L., Bolobova A.V., Kondrashchenko V.I. *Teoreticheskie osnovy biotekhnologii drevesnykh kompozitov. Kn. I. Drevesina i razrushayushchie ee griby* [Theoretical bases of biotechnology of wood composites. Book I: Wood and the fungi destroying it]. Moscow: Nauka, 2001, 264 p.
- [13] Burova L.G. *Formirovanie gruppirovok makromitsetov v kul'turakh sosny raznogo vozrasta* [The formation of macromycete groups in pine crops of different ages]. *Lesovedenie* [Forestry], 1973, no. 1, pp. 38–45.
- [14] Storozhenko V.G., Bondartseva M.A., Solov'ev V.A., Krutov V.I. *Nauchnye osnovy ustoychivosti lesov k derevorazrushayushchim gribam* [The scientific basis of the resistance of forests to wood-destroying fungi]. Moscow: Science, 1992, 222 p.
- [15] Stepanova N.T., Mukhin V.A. *Osnovy ekologii derevorazrushayushchikh gribov* [Fundamentals of ecology of wood-destroying mushrooms]. Moscow: Science, 1979, 100 p.
- [16] Ganbarov Kh.G. *Ekologo-fziologicheskie osobennosti derevorazrushayushchikh vysshikh gribov*. [Ekologophysiological features of higher basically wood-destroying fungi]. Baku: ELM, 1989, 197 p.
- [17] Bondartsev A.S. *Trutovye griby evropeyskoy chasti SSSR i Kavkaza* [Pipe mushrooms in the European part of the USSR and the Caucasus]. Moscow: Publishing house of the Academy of Sciences of the USSR, 1953, 1107 p.
- [18] Zhilin Zhanga, Ting Yangab, Na Mic, Yong Wanga, Guoyuan Li, Lihua Wanga, Yongjian Xiec. Antifungal activity of monoterpenes against wood white-rot fungi. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 2016, v. 106, pp. 157–160.
- [19] Sumthong P., Romero-González R.R., Verpoorte R. Identification of Anti-Wood Rot Compounds in Teak (*Tectonagrandis* L.f.) Sawdust Extract. *J. Wood Chemistry and Technology*, 2008, v. 28, pp. 247–260.
- [20] Valette N., Perrot T., Sormani R., Gelhaye E., Morel-Rouhier M. Antifungal activities of wood extractives. *Fungal Biology Reviews*, 2017, v. 31, no. 3, pp. 113–123.
- [21] Ozolinya N.R., Sergeeva V.N., Abramovich Ts.L. *Anatomicheskie i khimicheskie izmeneniya drevesiny berezy porazhennoy gribami beloy gnili* [Anatomical and chemical changes in birch wood affected by white rot fungi]. *Izv. AN Latvviyskoy SSR* [Proceedings of the Academy of Sciences of the Latvian SSR], 1987, no. 12, pp. 45–52.
- [22] Tapia C., Jimenez I., Medina J., Sapag-Hagar J., Gonzalez J., Gonzalez J. Evaluation of the Lignolytic Effect of the White-Rot Fungi *Ceriporiopsis* Sp, *Pleurotus* Sp, and *Phlebia* Sp on Industrial *Pinus Radiata* Logs. *J. Wood Chemistry and Technology*, 2005, v. 25, pp. 81–94.
- [23] Semenkova I.G., Sokolova E.S. *Fitopatologiya* [Plant pathology]. Moscow: Academy, 2003, 480 p.
- [24] Bilay V.I. *Osnovy obshchey mikologii* [Fundamentals of General Mycology]. Kiev: Vishcha shkola [High School], 1980, 360 p.
- [25] Vorontsov A.I. *Patologiya lesa* [Forest pathology]. Moscow: Lesnaya promyshlennost' [Forest industry], 1978, 271 p.
- [26] Vakurov A.D. *Usloviya razrusheniya i sroki sokhrannosti drevesiny v Severnoy tayge* [Destruction conditions and shelf life of wood in the Northern taiga]. *Lesnoy zhurnal* [Forest Journal], 1974, no. 17, pp. 162–164.
- [27] Ripachek V. *Biologiya derevorazrushayushchikh gribov* [Biology of wood-destroying fungi]. Moscow: Lesnaya promyshlennost' [Forest industry], 1967, 258 p.

Authors' information

Kononov Georgiy Nikolaevich — Cand. Sci. (Tech.), Associate Professor of the BMSTU (Mytishchi branch), corresponding member of the Russian Academy of Natural Sciences, the scientific secretary of section «Chemistry and engineering chemistry of wood» RHO of D.I. Mendeleev, kononov@mgul.ac.ru

Verevkin Aleksey Nikolaevich — Cand. Sci. (Chemical), Associate Professor of the BMSTU (Mytishchi branch), verevkin@mgul.ac.ru

Serdyukova Yuliya Vladimirovna — Senior Lecturer of BMSTU (Mytishchi branch), caf-htdip@mgul.ac

Zaytsev Vladislav Dmitrievich — Pg. BMSTU (Mytishchi branch), kelertak@bk.ru

Received 20.12.2019.

Accepted for publication 06.02.2020.