

МИКОЛИЗ ДРЕВЕСИНЫ КАК МЕТОД ЕЕ ДЕЛИГНИФИКАЦИИ

Г.Н. Кононов, А.Н. Веревкин, Ю.В. Сердюкова, Н.А. Николенко

МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), 141005, Московская область, г. Мытищи, ул. 1-я Институтская, д. 1
verevkin@mgul.ac.ru

Описан механизм миколиза древесины под действием грибов-делигнификаторов. Изучен компонентный состав микологически разрушенной древесины грибами белой гнили. Установлено, что в такой древесине резко возрастает количество экстрактивных веществ как гидрофобного, так и гидрофильного характера. Это означает, что миколизу подвергается как лигнин, так и углеводная часть древесины. При этом содержание лигнина уменьшается более чем в 2 раза, а содержание полисахаридов возрастает до 80 %. Такая делигнифицированная древесина имеет увеличенную внутреннюю поверхность целлюлозных волокон и может быть использована в качестве волокнистого полуфабриката для изготовления листовых материалов картонного и бумажного типов. Реакционная способность целлюлозного компонента такого полуфабриката повышена за счет разрыхления надмолекулярной структуры и как следствие увеличения доступности реакционноспособных групп. Поэтому такой полуфабрикат может быть использован для получения функциональных производных без предварительной активации.

Ключевые слова: лигнин, целлюлоза, микологически разрушенная древесина, лигноуглеводный комплекс, дереворазрушающие грибы

Ссылка для цитирования: Кононов Г.Н., Веревкин А.Н., Сердюкова Ю.В., Николенко Н.А. Миколиз древесины, как метод ее делигнификации // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2018. Т. 22. № 6. С. 110–115. DOI: 10.18698/2542-1468-2018-6-110-115

Целлюлоза является самым распространенным органическим соединением и биополимером растительного происхождения. Она достаточно редко встречается в виде индивидуального соединения, но входит в состав лигноуглеводных комплексов, включающих химически связанные с ней гемицеллюлозы и лигнин [1]. Для получения целлюлозы в достаточно чистом виде применяются различные методы делигнификации древесины. Разработанные и применяемые в настоящее время в промышленном масштабе делигнификационные процессы подразумевают использование кислотных, щелочных и окислительных реагентов [1–3]. Следствием этого является наличие экологически вредных производств, имеющих большое количество промышленных стоков, токсичных выбросов в атмосферу, а также высокую себестоимость готовой продукции.

Цель работы

Работа посвящена вопросам делигнификации древесины с целью получения волокнистых полуфабрикатов высокого выхода для дальнейшего их использования в качестве химического сырья.

Материалы и методы

Одним из экологически чистых способов делигнификации древесины может быть ее миколиз под действием ферментативных комплексов дереворазрушающих грибов, образующих так называемую белую гниль [3–6].

Кроме лигнолитических ферментов эти грибы содержат также целлюлазы и гемицеллюлазы — энзимы, расщепляющие целлюлозу и частично

гемицеллюлозы соответственно [7–11]. По соотношению скоростей действия ферментов на лигнин и полисахариды грибы-делигнификаторы делятся на следующие группы:

- 1) разрушающие лигнин, а затем гемицеллюлозы и целлюлозу (некоторые виды грибов рода *Trametes*);
- 2) разлагающие гемицеллюлозы, целлюлозу, а затем лигнин (вид съедобных грибов рода *Armillaria mellea*);
- 3) грибы, разлагающие одновременно, хотя и в разных пропорциях, и лигнин, и полисахариды (*Ganoderma applanatum*, *Heterobasidion annosum*, *Pleurotus ostreatus*) [2, 12–14].

С нашей точки зрения наиболее перспективными являются первая и третья группы дереворазрушающих грибов, дающие полуфабрикат волокнистой структуры в той или иной степени делигнифицированный по сравнению с исходной древесиной [2].

При действии грибов-делигнификаторов процесс миколиза древесины начинается с проникновения их гифов во внутреннюю полость клетки. При этом образуются микроотверстия в стенке клетки вследствие действия ферментов, выделяемых гифами. В дальнейшем эти отверстия значительно расширяются и позволяют многим гифам проникнуть в глубокие слои клеточной стенки вплоть до срединной пластинки [15–20].

После этого делигнификация продолжается и сопровождается набуханием и отделением внутренних слоев клеточной стенки. Постепенно происходит расслоение клеточной стенки по всей ее толщине и заполнение ее частями поло-

сти клетки. В заключение делигнифицируются срединные пластинки и происходит мацерация клеток. Причем разложение наблюдается на значительном удалении от гифов, что свидетельствует о высокой диффундирующей способности лигнолитических ферментов гриба. Такое прогрессирующее разложение клеточных стенок делает их все более пористыми с высокоразвитой поверхностью [19–22].

Делигнификация вторичной стенки протекает довольно быстро, в то время как разрушение сложной срединной пластинки запаздывает до определенной степени, в зависимости от вида гриба. УФ-микроскопия показывает, что сложная срединная пластинка даже на глубоких стадиях делигнификации дает поглощение ароматического кольца, в то время как вторичная стенка почти не содержит ароматических структур лигнина уже при потере массы древесины около 10 % (рис. 1).

В работе использовалась древесина березы в виде технологической щепы, которую использовали для выращивания дереворазрушающих грибов и изучения ее структуры и химического состава.

Комплекс дереворазрушающих грибов из первой и третьей групп культивировали в стационарных условиях на жидкой питательной среде, содержащей 20 г/л глюкозы, 1 г/л пептона, 200 мл/л сула, рН до стерилизации 6,0–6,2 при 24 °С в течение 14 суток. Для получения микологически разрушенной древесины дереворазрушающие грибы выращивали методом твердофазной ферментации: щепу березы увлажняли водой, содержащей 1 % пептона, и инокулировали культурой грибов. Твердый субстрат прорастал мицелием дереворазрушающих грибов за 10–12 суток при 24–25 °С [23].

Для изучения структуры образцы доводили до влажности 4–5 %, нарезали тонкими пластинами и на специальной подложке помещали в сканирующий электронный микроскоп [4, 21].

Определение содержания лигнина Классона проводили по методу Комарова путем обработки древесины 72 % серной кислотой [15, 24–26].

Содержание целлюлозы определяли по методу Кюршнера и Хоффера обработкой этанольным раствором азотной кислоты (4 : 1) [15, 24–26].

Определение редуцирующей способности и медного числа выделенной целлюлозы производили ее обработкой жидкостью Феллинга [15, 24–26].

Кроме того, определяли содержание экстрактивных веществ древесины путем их извлечения, обработкой древесины различными растворителями [15].

Для определения веществ, растворимых в холодной воде, навеску воздушно-сухих опилок около 2 г поместили в стеклянный стакан вместимостью 400 мл и залили 300 мл дистиллированной

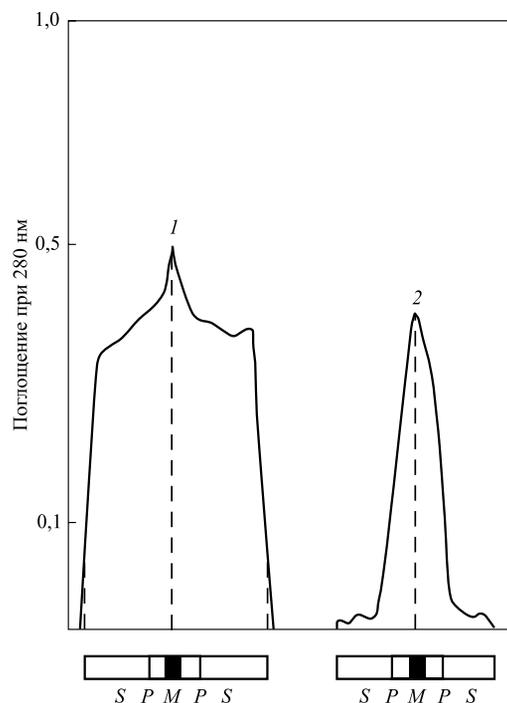


Рис. 1. УФ-микроскопическое исследование клеточных стенок двух смежных клеток волокон либриформа здоровой (1) и биоделигнифицированной (2) древесины березы [8]

Fig. 1. UV-microscopic research of two interfacing cell walls of libriform fibers of healthy (1) and biodelignified (2) birch wood [8]

воды с температурой 20 ± 2 °С. Смесь выдерживали в течение 48 ч при указанной температуре, периодически перемешивая. Затем опилки отфильтровали на высушенном до постоянной массы пористом стеклянном фильтре под вакуумом. Фильтр с опилками сушили при температуре 103 ± 2 °С до постоянной массы.

Для определения веществ, растворимых в горячей воде, навеску воздушно-сухих опилок (около 2 г) поместили в коническую колбу вместимостью 250 мл и залили 100 мл дистиллированной воды. К колбе присоединили обратный холодильник и поставили на кипящую водяную баню. Экстрагирование проводили в течение 3 ч. Затем опилки отфильтровали на высушенном до постоянной массы пористом стеклянном фильтре. Фильтр с опилками сушили до постоянной массы при температуре 103 ± 2 °С.

Для определения веществ, растворимых в разбавленных растворах щелочей, навеску воздушно-сухих опилок (около 2 г) поместили в коническую колбу вместимостью 250 мл и заливали 100 мл 10 % раствора КОН. К колбе присоединили обратный холодильник и поставили на кипящую водяную баню. Экстрагирование проводили в течение 1 ч. Затем опилки отфильтровали на высушенном до постоянной массы пористом стеклянном фильтре. Опилки на фильтре

промыли 100 мл горячей дистиллированной воды, затем 50 мл 10-процентного раствора уксусной кислоты и опять дистиллированной водой до нейтральной реакции промывных вод. Фильтр с опилками сушили до постоянной массы при температуре 105 ± 2 °С.

Для определения веществ, растворимых в органических растворителях, использовали аппарат Сокслета. Около 2 г воздушно-сухих опилок, завернутых в гильзу из фильтровальной бумаги, поместили в насадку для экстрагирования. В колбу аппарата налили 200 мл растворителя. Экстрагирование кипящим растворителем продолжалось в течение 2–3 ч. Раствор (экстракт) перелили в высушенную до постоянной массы колбу и отогнали растворитель. Колбу со смолой сушили при 103 ± 2 °С до постоянной массы.

Массовые доли экстрактивных веществ (в %) рассчитали по отношению к массе абсолютно сухой древесины [2, 15].

Результаты и обсуждение

В результате проведенной биоделигнификации уже при уменьшении массы на 15–20 %, древесина значительно теряет лигнин и обогащается целлюлозой (рис. 2).

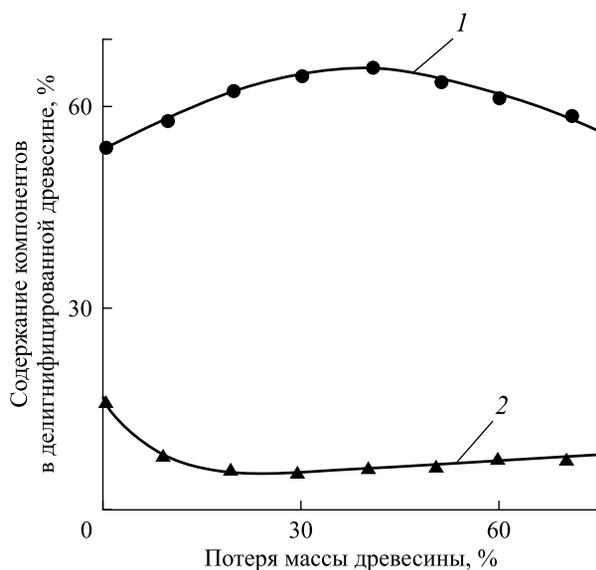


Рис. 2. Изменение содержания основных компонентов древесины березы при биоделигнификации: 1 — целлюлоза; 2 — лигнин

Fig. 2. Content changes of principal components of birch wood at biodelignification: 1 — cellulose; 2 — lignin

Такая частично делигнифицированная древесина с увеличенной внутренней поверхностью целлюлозных волокон и, по-видимому, уменьшенной степенью кристалличности целлюлозы, может быть использована в качестве волокнистого полуфабриката для изготовления листовых материалов картонного и бумажного типа [11, 25].

Состав экстрактивных веществ древесины березы

The composition of birch wood extraneous substance

Способ обработки	Содержание экстрактивных веществ, %	
	исходная древесина	биоделигнифицированная древесина
Экстракция холодной водой	0,3	3,8–5,3
Экстракция горячей водой	2,2	15,2–18,0
Экстракция смесью этанол : бензол (1:2)	1,8	1,9–2,1
Экстракция 10-процентным раствором КОН	28,0	35,6–38,2

Реакционная способность целлюлозного компонента такого полуфабриката повышена за счет разрыхления надмолекулярной структуры и, как следствие, увеличения доступности реакционноспособных групп. Поэтому такой полуфабрикат может быть использован для получения функциональных производных без его предварительной активации.

Кроме установления содержания лигнина и целлюлозы определялись медное число, а также содержание экстрактивных веществ в биоделигнифицированной древесине. Результаты проведенных исследований представлены в таблице.

Выводы

Результаты исследования показали, что в микологически разрушенной древесине резко возрастает количество экстрактивных веществ как гидрофильного, так и гидрофобного характера. Это свидетельствует о том, что процессу миколиза подвергается как лигнин, дающий определенное количество гидрофобных продукты, так и углеводная часть древесины, превращаемая в гидрофильные олигосахариды. При этом содержание гидрофильных веществ увеличивается примерно на порядок. Так как лигнина в древесине примерно в 2,5 раза меньше, чем углеводных компонентов, то процесс его превращения в низкомолекулярные экстрактивные вещества как гидрофобного, так и гидрофильного характера объясняет более резкое сокращение его относительного содержания по сравнению с углеводами древесины. Значительное увеличение количества щелочерастворимых продуктов свидетельствует о частичной деструкции целлюлозы до олигосахаридов гемичеселлюлозного типа и образования соединений фенольной природы из лигнина. Высокое значение медного числа выделенной целлюлозы характеризует как снижение ее степени полимеризации, так и, по-видимому, образование редуцирующих групп внутри макромолекулярных цепей за счет биоокислительных процессов.

Полученные результаты подтверждают теоретические предпосылки, изложенные выше, что позволяет предположить возможность перспективности выбранного направления исследования микологически разрушенной древесины.

Список литературы

- [1] Азаров В.И., Кононов Г.Н., Горячев Н.Л. Изучение компонентного состава микологически разрушенной древесины // *Технология и оборудование для переработки древесины: научные труды*. М.: МГУЛ, 2012. Вып. 358. С. 126–131.
- [2] Кононов Г.Н. *Химия древесины и ее основных компонентов*. М.: МГУЛ, 2002. 259 с.
- [3] Озолия Н.Р., Сергеева В.Н., Абрамович Ц.Л. Анатомические и химические изменения древесины березы пораженной грибами белой гнили // *Известия АН Латв. ССР*, 1987. № 12. С. 45–52.
- [4] Медведева С.А. Превращение ароматической компоненты древесины в процессе биоделигнификации: автореф. дис. ... д-ра хим. наук. Иркутск: Иркутский гос. ун-т, 1995. 40 с.
- [5] Изучение лигниназной активности базидиомицета *Phanerochaete sanguinea* / Медведева С.А., Бабкин В.А., Волчатова И.В., Соловьев В.А., Малышева О.Н., Спиридонова Л.Н., Александрова Г.Л. // *Химия древесины*, 1989. № 6. С. 75–76.
- [6] Исследование некоторых факторов, влияющих на ферментативную активность гриба *Phanerochaete sanguinea* / Александрова Г.П., Медведева С.А., Бабкин В.А., Соловьев В.А., Малышева О.Н. // *Химия древесины*, 1993. № 4. С. 55–60.
- [7] Стороженко В.Г. Научные основы устойчивости лесов к дереворазрушающим грибам. М.: Наука, 1992. 221 с.
- [8] Фенгел Д., Вегенер Г. *Древесина (Химия, ультраструктура, реакции)*. М.: Лесная промышленность, 1988. 512 с.
- [9] Шиврина А.Н. Биологически активные вещества высших грибов. М.: Наука, 1965. 202 с.
- [10] Ганбаров Х.Г. Эколого-физиологические особенности дереворазрушающих высших базидальных грибов. Баку: ЭЛИМ, 1989. 197 с.
- [11] Никитина С.А., Хабибрахманова В.Р., Сысоева М.А. Химический состав и биологическая активность три-терпеновых и стероидных соединений чаги // *Биомедицинская химия*, 2016. Т. 62, № 4. С. 369–375.
- [12] Решетникова И.А. Деструкция лигнина ксилотрофными макромицетами. М.: МГУ, 1997. 197 с.
- [13] Бутова Л.Г. Формирование группировок макромицетов в культурах сосны разного возраста // *Лесоведение*, 1973. № 1. С. 38–45.
- [14] Naidu Y., Siddiqui Y., Rafi M.Y., Saud H.M., Idris A.S. Investigating the effect of white-rot hymenomycetes biodegradation on basal stem rot infected oil palm wood blocks: Biochemical and anatomical characterization // *Industrial Crops and Products*, 2017, v. 108, pp. 872–882.
- [15] Кононов Г.Н. *Дендрохимия. Химия, нанохимия и биохимия компонентов клеток, тканей и органов древесных растений*. М.: МГУЛ, 2015. Т. 1. 480 с. Т. 2. 632 с.
- [16] State of the art and future directions for mycological research in old-growth forest / Clausen J.H., Adamčík S., Bässler C., Halme P., Krisai-Greilhuber I., Holec J. // *Fungal Ecology*, 2017, v. 27, part b, pp. 141–144.
- [17] Александрова Г.П., Медведева С.А. Биоотбелка сульфатной целлюлозы оксидазными ферментами гриба *Daedaleopsis confragosa* // *Химия растительного сырья*, 1999. № 2. С. 81–84.
- [18] Abdelkader S., Hamed M. In-vitro studies on wood degradation in soil by soft-rot fungi: *Aspergillus niger* and *Penicillium chrysogenum* // *International Biodeterioration & Biodegradation*, 2013, v. 78, pp. 99–102.
- [19] Рипачек В. Биология дереворазрушающих грибов. М.: Лесная промышленность, 1967. 258 с.
- [20] Мерсов Е.Д. Производство древесноволокнистых плит. М.: Высшая школа, 1989. 232 с.
- [21] Исаева Л.Г. *Дереворазрушающие грибы // Рассеянные элементы в бореальных лесах*. М.: Наука, 2004. С. 224–259.
- [22] Richter D.L., Glaeser J.A. Wood decay by *Chlorociboria aeruginascens* (Nyl.) Kanouse (Helotiales, Leotiaceae) and associated basidiomycete fungi // *International Biodeterioration & Biodegradation*, 2015, v. 105, pp. 239–244.
- [23] Культивирование дереворазрушающих грибов рода *Phellinus* на древесине березы / Веревкин А.Н., Кононов Г.Н., Машута Н.П., Сердюкова Ю.В., Воликова А.С. // *Технология и оборудование для переработки древесины: научные труды*. М.: МГУЛ, 2016. Вып. 381. С. 85–88.
- [24] Falcon M.A., Rodríguez A., Carnicero A., Regalado V., Perestelo F., Milstein O., De la Fuente G. Isolation of microorganisms with lignin transformation potential from soil of Tenerife island // *Soil Biology and Biochemistry*, 1995, v. 27 (2), pp. 121–126.
- [25] Совершенствование биологической отбелки сульфатной целлюлозы / Александрова Г.П., Медведева С.А., Бабкин В.А., Соловьев В.А., Малышева О.Н. // *Химия древесины*, 1993. № 4, С. 14–17.
- [26] Kwaśna H., Mazur A., Kuźmiński R., Jaszczak R., Turcki M., Behnke-Borowczyk J., Adamowicz K., Łakomy P. Abundance and diversity of wood-decay fungi in managed and unmanaged stands in a Scots pine forest in western Poland // *Forest Ecology and Management*, 2017, v. 400, pp. 438–446.

Сведения об авторах

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

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

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

Николенко Николай Александрович — студент МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), caf-htdip@mgul.ac.ru

Поступила в редакцию 24.04.2018.

Принята к публикации 15.08.2018.

WOOD MYCOLYSIS AS A METHOD OF ITS DELIGNIFICATION

G.N. Kononov, A.N. Verevkin, Ju.V. Serdyukova, N.A. Nikolenko

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

verevkin@mgul.ac.ru

Cellulose is part of wood lignincarbohydrate complex including the chemically bound hemicelluloses and a lignine. To obtain cellulose in its pure form, there are different methods of wood delignification. One of the environmentally friendly methods of plant biomass delignification is a lignin mycolysis under the action of enzymatic complexes of wood destroying fungi forming the so-called «white decay». Also, these fungi contain enzymes breaking down hemicellulose and partially cellulose. As a result of biodelignification the wood loses 15–20 % of the mass and also forms a semi-finished product of fibrous structure. In the early stages of wood destruction occurs the enrichment of the cellulose and decrease lignin. The mechanism of a wood mycolysis of under the action of delignification fungi is described. The components composition of mycologically destroyed wood by «white decay» fungi is studied. It is established that the amount of extractives, both hydrophobic and hydrophilic character sharply increases in such wood. It means both the lignin and the carbohydrate parts of wood are subjected to mycolysis. The lignin content decreases more than twice and the content of polysaccharides increased to 80 %. This delignified wood has increased the internal surface of cellulose fibers and can be used as fibrous material for the manufacture of cardboard and paper types sheet materials. The reactivity of the cellulose component of such a semi-finished product is increased due to the loosening of the supramolecular structure and as a consequence increases the availability of reactive groups. Therefore, such a semi-finished product can be used to obtain functional derivatives without prior activation.

Keywords: lignin, cellulose, mycologically destroyed wood, lignincarbohydrate complex, wood-destroying fungi

Suggested citation: Kononov G.N., Verevkin A.N., Serdyukova Ju.V., Nikolenko N.A. *Mikoliz drevesiny, kak metod ee delignifikatsii* [Wood mycolysis as a method of its delignification]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2018, vol. 22, no. 6, pp. 110–115. DOI: 10.18698/2542-1468-2018-6-110-115

References

- [1] Azarov V.I., Kononov G.N., Goryachev N.L. *Izuchenie komponentnogo sostava mikologicheskii razrushennoy drevesiny* [Studying of component structure mycologically the destroyed wood]. *Tekhnologiya i oborudovanie dlya pererabotki drevesiny: nauchnye trudy* [Technology and the equipment for wood processing: Collected papers]. Moscow: MGUL, 2012, v. 358, pp. 126–131.
- [2] Kononov G.N. *Himiya drevesiny i ego osnovnykh komponentov* [Chemistry of wood and its main components]. Moscow: MSFU, 2002, 259 p.
- [3] Ozolina N.R., Sergeeva N.V., Abramovich C.L. *Anatomicheskie i himicheskie izmeneniya drevesiny berezy porazhennoy gribami beloy gnili* [The anatomic and chemical changes of wood of a birch struck by white-rot fungi]. *Izvestiya AN Latv. SSR*, 1987, no. 12, pp. 45–52.
- [4] Medvedeva S.A. *Prevrashhenie aromaticheskoy komponenty drevesiny v processe biodelignifikatsii* [The transformation of the aromatic components of the wood biodelignification process]. *Avtoref. dis. ... d. chem. n.* [Abstract of the thesis of the Dr. Sci. (Chemistry)]. Irkutsk. 1995, 40 p.
- [5] Medvedeva S.A., Babkin V.A., Volchatova I.V., Soloviev V.A., Malysheva O.N., Spiridonova L.N., Alexandrova L.G. *Izuchenie ligninaznoy aktivnosti bazidiomiceta Phanerochaete sanguinea* [The study of ligninase activity of basidiomycete Phanerochaete Sanguinea]. *Chemistry of wood*, 1989, no. 6, pp. 75–76.
- [6] Alexandrova G.P., Medvedeva S.A., Babkin V.A., Soloviev V.A., Malysheva O.N. *Issledovanie nekotorykh faktorov, vliyayushih na fermentativnyuyu aktivnost griba Phanerochaete sanguinea*. [A study of some factors affecting the enzymatic activity of the fungus Phanerochaete sanguinea]. *Wood chemistry*, 1993, no. 4, pp. 55–60.
- [7] Storozhenko V.G. *Nauchnye osnovy ustoychivosti lesov k derevozrushayushhim gribam* [The scientific foundations of forest sustainability to wood-destroying fungi]. M.: Nauka [Science], 1992, 221 p.
- [8] Fengel D., Vegener G. *Drevesina (Kimiya, ul'trastruktura, reaktivnosti)* [Wood (Chemistry, ultra-structure, reactions)]. M.: Lesnaya promyshlennost', 1988, 512 p.
- [9] Shivrina A. N. *Biologicheski aktivnye veshchestva vysshix gribov* [Biologically active substances of higher fungi]. Moscow: Nauka [Science], 1965, 202 p.
- [10] Ganbarov H. G. *Ekologo-fiziologicheskie osobennosti derevozrushayushih vysshix bazidalnykh gribov*. [Ekologo-physiological features of higher basically wood-destroying fungi]. Baku: ELM, 1989, 197 p.
- [11] Nikitina S.A., Habibrahmanova V.R., Sysoeva M. A. *Himicheskiy sostav i biologicheskaya aktivnost triterpenovykh i steroidnykh soedineniy chagi* [Chemical composition and biological activity of triterpene and steroid compounds chaga]. *Biomed*, 2016, v. 62 (4), pp. 369–375.
- [12] Reshetnikova I.A. *Destruktsiya lignina ksilotrofnymi makromicetami* [Degradation of lignin by xylophilic macromycetes]. Moscow: Moscow State University, 1997, 197 p.
- [13] Burova L.G. *Formirovanie gruppirovok makromicetov v kulturax sosny raznogo vozrasta* [Formation of macromycetes groups in pine cultures of different ages]. *Lesovedenie* [Forest science], 1973, no. 1, pp. 38–45.
- [14] Naidu Y., Siddiqui Y., Rafii M.Y., Saud H.M., Idris A.S. *Investigating the effect of white-rot hymenomyces biodegradation on basal stem rot infected oil palm wood blocks: Biochemical and anatomical characterization*. *Industrial Crops and Products*, 2017, v. 108, pp. 872–882.

- [15] Kononov G.N. *Dendrohimiya. Himiya, nanohimiya i biogehimiya komponentov kletok, tkaney i organov drevesnyh rasteniy* [Dendrochemistry. Chemistry, nanochemistry and biogeochemistry of cell components, tissues and organs of woody plants]. Moscow: MSFU, 2015, v. 1, 480 p., v. 2, 632 p.
- [16] Clausen J.H., Adamčik S., Bässler C., Halme P., Krisai-Greilhuber I., Holec J. State of the art and future directions for mycological research in old-growth forest. *Fungal Ecology*, 2017, v. 27, part b, pp. 141–144.
- [17] Alexandrova G. P., Medvedeva C.A. *Biootbelka sulfatnoy cellyulozy oksidaznymi fermentami griba Daedaleopsis confragosa* [Bio whitening Kraft pulp by oxidase enzymes of the fungus *Daedaleopsis confragosa*]. *Chemistry of vegetable raw materials*, 1999, no. 2, pp. 81–84.
- [18] Abdelkader S., Hamed M. In-vitro studies on wood degradation in soil by soft-rot fungi: *Aspergillus Niger* and *Penicillium chrysogenum*. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 2013, v. 78, pp. 99–102.
- [19] Rypacek V. *Biologiya derevorazrushayushhix gribov* [Biology of wood-destroying fungi]. Moscow: Forest industry, 1967, 258 p.
- [20] Mersov E.D. *Proizvodstvo drevesnovoloknistyx plit* [Production of fiberboard]. Moscow: Higher school, 1989, 232 p.
- [21] Isaeva L.G. *Derevorazrushayushchie griby* [Wood-destroying fungi] *Rasseyannye elementy v boreal'nykh lesakh* [Scattered elements in boreal forests]. Moscow: Nauka, 2004, pp. 224–259.
- [22] Richter D.L., Glaeser J.A. Wood decay by *Chlorociboria aeruginascens* (Nyl.) Kanouse (Helotiales, Leotiaceae) and associated basidiomycete fungi. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 2015, v. 105, pp. 239–244.
- [23] Ivankin A. N., Verevkin, A. N., Kulikovskii, A. V., Chernycha I.M., Kristaphovich V.I., Fokine I.I. *Izmenenie sostava letuchix komponentov v processe kultivirovaniya drozhzhey Saccharomyces cerevisiae v prisutstvii aktivatorov* [Changes in the composition of volatile components in the process of culturing yeast *Saccharomyces cerevisiae* in the presence of activators]. *Storage and processing of agricultural products*, 2016, no. 8, pp. 39–44.
- [24] Falcon A. M., Rodríguez A., Carnicero A., Regalado V., Perestelo F., Milstein O., De La Fuente G. Isolation of microorganisms with potential for the transformation of lignin from the soil of the island of Tenerife. *Soil Biology and Biochemistry*, 1995, v. 27 (2), pp. 121–126.
- [25] Alexandrova G. P., Medvedeva S.A., Babkin V.A., Soloviev V.A., Malysheva O.N. *Sovershenstvovanie biologicheskoy otbelki sulfatnoy cellyulozy* [Improving biological bleaching of Kraft pulp]. *Chemical wood*, 1993, no. 4, pp. 14–17.
- [26] Kwasna H., Mazur A., R Kuźmiński R., Jaszczak R., Turski M., Behnke-Borowczyk J., Adamowicz K., Lakomy P. Abundance and diversity of wood-decay fungi in managed and unmanaged stands in a Scots pine forest in western Poland. *Forest Ecology and Management*, 2017, v. 400, pp. 438–446.

Authors' information

Kononov Georgiy Nikolaevich — Cand. Sci. (Tech.), Associated 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

Veryovkin Alexey Nikolaevich — Cand. Sci. (Chemical), Associated Professor of the BMSTU (Mytishchi branch), verevkin@mgul.ac.ru

Serdyukova Yuliya Vladimirovna — Associated Professor of the BMSTU (Mytishchi branch), caf-htdip@mgul.ac.ru

Nikolenko Nikolay Aleksandrovich — the student of the BMSTU (Mytishchi branch), caf-htdip@mgul.ac.ru

Received 24.04.2018.

Accepted for publication 15.08.2018.