

## МОДИФИЦИРОВАНИЕ ГИДРОЛИЗНОГО ЛИГНИНА ПРОДУКТАМИ МИКОЛИЗА ДРЕВЕСИНЫ

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

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

kononov@mgul.ac.ru

Лигнин — второе по распространенности органическое соединение на Земле, являющееся продуктом биосинтеза растений. В современных химических технологиях переработки растительной биомассы лигнин не только не используется как органическое сырье, но и относится к обременительным отходам технологических процессов. Утилизация гидролизного лигнина является важной задачей. Целью данной работы является изучение влияния добавок микологически разрушенной древесины грибами бурой гнили к гидролизному лигнину как сырья для получения активированного угля. Даны количественные характеристики микологически разрушенной древесины ели и гидролизного лигнина. В состав гидролизного лигнина и микологически разрушенной древесины входят соединения, содержащие полярные функциональные группы. Установлено, что основными экстрактивными веществами микологически разрушенной древесины являются соединения фенольной природы. Эти соединения могут выступать в роли сшивающих агентов при пиролизе лигнина. Изучены некоторые закономерности пиролиза композиций на основе гидролизного лигнина и микологически разрушенной древесины. Исследовано влияние количества модификатора на выход нелетучего углерода при пиролизе композиции. Установлено, что содержание нелетучего углерода возрастает в интервале температуры 350...450 °С в среднем на 25 % по сравнению с гидролизным лигнином. Подобраны состав композиции и условия пиролиза: массовая доля микологически разрушенной древесины ели в композиции с гидролизным лигнином составляет 12,5 %, температура пиролиза 450 °С, время пиролиза 2 ч. Уголь-сырец, полученный из модифицированного гидролизного лигнина, спекается и приобретает форму сосуда для пиролиза, а не мелкодисперсного порошка. Это свидетельствует о дополнительном структурировании получаемого продукта.

**Ключевые слова:** пиролиз, гидролизный лигнин, микологически разрушенная древесина

**Ссылка для цитирования:** Кононов Г.Н., Веревкин А.Н., Сердюкова Ю.В., Зайцев В.Д. Модифицирование гидролизного лигнина продуктами микелиза древесины // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2018. Т. 22. № 1. С. 78–83. DOI: 10.18698/2542-1468-2018-1-78-83

Утилизация гидролизного лигнина является важной задачей. В России за годы функционирования гидролизной промышленности было накоплено от 70 до 90 млн т гидролизного лигнина [1]. Самыми крупными являются отвалы в Иркутской области (около 20 млн т), Красноярском крае (порядка 15 млн т), Свердловской области (15 млн т) и Кировской области (10 млн т). Залежи гидролизного лигнина в г. Зима Иркутской области сравнивают с опухолью на теле Земли, имеющей гигантские размеры: площадью 25,5 га и 23 м в глубину [2]. Однако гидролизный лигнин обладает рядом ценных свойств. Являясь продуктом ароматической природы с высоким содержанием углерода, он дает высокий выход угля при пиролизе с высокой сорбционной способностью. Поэтому одним из перспективных способов утилизации лигнина является получение на его основе различных сорбционных систем, в том числе активированного угля. Однако уголь-сырец, получаемый из гидролизного лигнина, не пригоден для парогазовой активации из-за особенностей своего строения: он представляет собой мелкодисперсный порошок, практически полностью выгорающий при активации.

### Цель работы

Целью данной работы является изучение влияния добавок микологически разрушенной грибами бурой гнили древесины (МРД) к гидролизному лигнину (ГЛ) и пиролиз данной смеси для получения угля-сырца с последующей его активацией.

### Материалы и методы

На основании проведенных исследований [3, 4] и литературных данных [5–13] можно предположить, что в качестве модификатора лигнина при пиролизе можно использовать микологически разрушенную грибами бурой гнили древесину. Такая древесина обогащена низкомолекулярными фенольными соединениями, способными вступать во взаимодействие с гидролизным лигнином при его пиролизе. Это может приводить к структурированию и спеканию угля-сырца.

Пиролиз смеси гидролизного лигнина с микологически разрушенной древесиной проводили в муфельной печи со скоростью нагрева 10 град./мин до заданной температуры; после этого образец выдерживали при заданной температуре 2 ч, а затем охлаждали. Содержание модификатора и температуру пиролиза варьировали для изучения

характеристик получаемого угля-сырца. В исходном сырье и полученном продукте определяли влажность, зольность, количество экстрактивных веществ, содержание лигнина, нелетучего углерода, кислот и альдегидов [13–17].

### Результаты и обсуждение

В табл. 1, 2 представлены количественные характеристики исследуемых образцов. Как видно из полученных данных, и для гидролизного лигнина, и для микологически разрушенной древесины характерно наличие большого количества соединений, содержащих полярные функциональные группы. Поскольку они обладают повышенной растворимостью в разбавленных растворах щелочей, можно заключить, что основными экстрактивными соединениями микологически разрушенной древесины являются соединения

кислотного характера (фенолы и кислоты). Эти соединения могут выступать в роли каталитических и сшивающих агентов в присутствии альдегидов при пиролизе лигнина.

На рис. 1 представлены зависимости выхода угля-сырца от содержания микологически разрушенной древесины в исходной композиции при разной температуре проведения пиролиза. Из представленных данных видно, что с увеличением содержания микологически разрушенной древесины в композиции, подвергаемой пиролизу, выход угля-сырца заметно снижается. Однако 12,5 % микологически разрушенной древесины в композиции выхода угля-сырца не только не снижается по сравнению с гидролизным лигнином, но даже несколько увеличивается.

Т а б л и ц а 1  
Количественные характеристики микологически разрушенной древесины ели грибами бурой гнили и гидролизного лигнина  
The quantitative characteristics of the mycologically destroyed fir-tree wood with brown decay fungi and the hydrolysis lignine

Количественные параметры	Гидролизный лигнин	Микологически разрушенная древесина	
Относительная влажность, %	5	6,9	
Зольность, %	9,4	1,47	
Содержание экстрактивных веществ при обработке, %			
	холодной водой	3,84	1,723
	горячей водой	10,39	15,8
	этанолом	12,22	9
	бензолом	8,02	3,0
1%-ным раствором КОН	5,0	49,5	
Содержание лигнина Класона, %	54,75	52,257	

Т а б л и ц а 2  
Содержание функциональных групп в веществах водных экстрактов микологически разрушенной древесины ели  
The content of the functional groups in substances of water extracts from mycologically destroyed fir-tree wood

Количественная характеристика экстракта	Обработка холодной водой	Обработка горячей водой
Массовая доля фенольных и карбоксильных групп, %	0,009	0,1215
Массовая доля карбонильных групп, %	2,04	3,6
pH экстракта	1,93	1,84

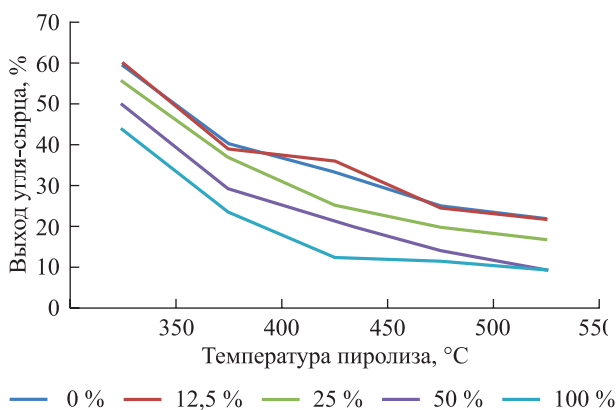


Рис. 1. Зависимость выхода угля-сырца от температуры пиролиза при различном содержании микологически разрушенной древесины в композиции с гидролизным лигнином

Fig. 1. Dependences of a coal-raw yield from pyrolysis temperature at various contents of mycologically destroyed wood in mixture with the hydrolysis lignin

Следует отметить, что уголь-сырец, полученный из модифицированного гидролизного лигнина, структурируется, как и предполагалось ранее, и приобретает форму сосуда, в котором осуществлялся пиролиз (рис. 2, 3).

Исследовано также влияние количества модификатора на массовую долю нелетучего углерода (табл. 3).

Содержание нелетучего углерода в угле-сырце у смеси, полученной из гидролизного лигнина с 12,5 % микологически разрушенной древесины, по сравнению с чистым гидролизным лигнином возрастает при температуре 350...450 °C в среднем на 25 %. Что же касается угля-сырца из микологически разрушенной древесины, то у него не только низкий выход, но уголь и низкое содержание нелетучего углерода (рис. 4). Данный показатель имеет тенденцию к снижению при более высокой температуре, что, по-видимому, связано

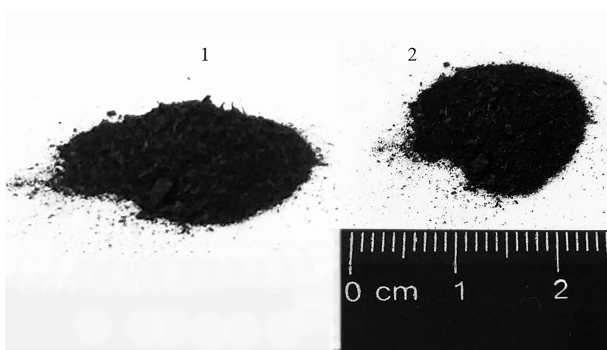


Рис. 2. Уголь-сырец (справа), полученный из гидролизного лигнина (слева)

Fig. 2. The coal-raw (right) received from the hydrolysis lignin (left)

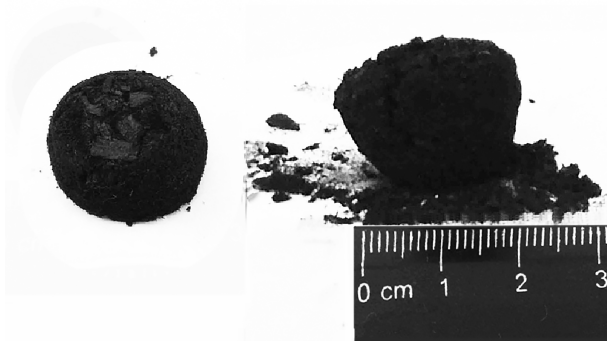


Рис. 3. Уголь-сырец, полученный из гидролизного лигнина, модифицированного 12,5 % микологически разрушенной древесины

Fig. 3. The coal-raw received from the hydrolysis lignin modified with 12,5 % mycologically destroyed wood

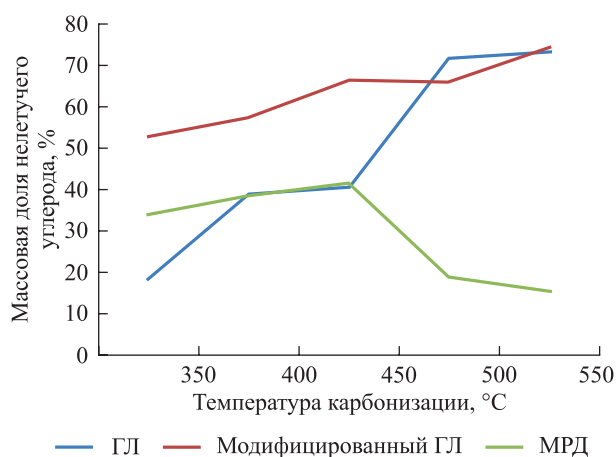


Рис. 4. Зависимость массовой доли нелетучего углерода в угле-сырце от температуры пиролиза различных видов сырья

Fig. 4. Dependence of a mass portion of nonvolatile carbon in coal-raw of temperature of pyrolysis of different types of raw materials

Т а б л и ц а 3

Массовая доля нелетучего углерода, %, в угле-сырце из различных видов сырья  
A nonvolatile carbon mass portions (%) in coal-raw from different types of raw materials

Состав сырья	Температура карбонизации, °C				
	350	400	450	500	550
ГЛ	18,51	39	40,6	71,69	73,36
МРД	33,83	38,53	41,53	18,53	15,23
12,5 % МРД; 87,5 % ГЛ	52,893	45,203	66,63	66,2	74,39
25 % МРД; 75 % ГЛ	61,01	61,33	62,54	64,16	73,5825
50 % МРД; 50 % ГЛ	44,34	50,65	52,465	82,9365	54,565

с разрушением определенного рода высококонденсированных структур из низкомолекулярных экстрактивных веществ фенольного характера.

## Выводы

Из проведенных исследований можно сделать следующие выводы.

1. Микологически разрушенная древесина грибами бурой гнили, может выполнять функцию модификатора гидролизного лигнина при его пиролизе.

2. Оптимальные условия пиролиза: содержание микологически разрушенной древесины грибами бурой гнили 12,5 масс. % в композиции с гидролизным лигнином, температура пиролиза 450 °C, время пиролиза 2 ч.

3. При оптимальных условиях процесса выход угля-сырца возрастает приблизительно на 3 %, а содержание нелетучего углерода в нем – на 25 % по сравнению с углем, полученным из гидролизного лигнина.

## Список литературы

- [1] Rabinovich M.L. Lignin by-products of Soviet hydrolysis industry: resources, characteristics, and utilization as a fuel // Cellulose Chemistry and Technology, 2014, no. 48 (7–8), pp. 613–631.
- [2] Илюшкина Е.С. Проблемы утилизации лигнина в Иркутской области // Актуальные вопросы экономических наук, 2011. № 18. С. 241–247.
- [3] Азаров В.И., Кононов Г.Н., Горячев Н.Л. Изучение компонентного состава микологически разрушенной древесины // Технология и оборудование для переработки древесины: науч. тр. М.: МГУЛ, 2012. Вып. 358. С. 126–131.
- [4] Кононов Г.Н., Мазитов Л.А., Климов В.С. Термолиз лигнинсодержащего сырья // Науч. тр. МГУЛ. М.: МГУЛ, 1994. Вып. 273. С. 61–65.
- [5] Иванкин А.Н., Беляков В.А., Вострикова Н.Л., Куликовский А.В., Лиханова Л.М. Влияние нано-микрокомпонентного состава продуктов распада термолизированной древесины на безопасность обрабатываемой продукции // Вестник МГУЛ – Лесной вестник, 2013. № 2. С. 67–72.

- [6] Тиньгаева Е.А., Фарберова Е.А. Исследование возможности использования лигнина и целлолигнина для получения гранулированных активных углей // Вестник ПНИПУ, 2016. № 1. С. 47–60.
- [7] Gorbacheva G.A., Ivankin A.N., Sanaev V.G., Ageev A.K., Kiryukhin D.P., Kichigina G.A., Kushch P.P., Badamshina E.R. Surface Modification of Cellulose-Containing Materials with Solutions of Tetrafluoroethylene Telomers // Russian J. Applied Chemistry, 2017, v. 90, no. 8, pp. 1104–1110.
- [8] Леванова В.П. Технология, свойства и применение энтеросорбентов на основе гидролизного лигнина: автореф. дис. ... д-ра техн. наук. СПб.: ВНИИ Гидролиза растительных материалов, 1995. 33 с.
- [9] Ivankin A.N., Oliferenko G.L., Kulikovskii A.V., Chernuha I.M., Semenova A.A., Spiridonov K.I., Nasonova V.V. Determination of Unsaturated Fatty Acids with a Migrating Double Bond in Complex Biological Matrices by Gas Chromatography with Flame Ionization and Mass Spectrometry Detection // J. Analytical Chemistry, 2016, v. 71, no. 11, pp. 1131–1137. DOI: 10.1134/S1061934816110046
- [10] Рабинович М.Л., Болобова А.В., Кондращенко В.И. Теоретические основы биотехнологии древесных композитов. Кн. I: Древесина и разрушающие ее грибы. М.: Наука, 2001. 264 с.
- [11] Иванкин А.Н., Веревкин А.Н., Куликовский А.В., Чернуха И.М., Криштафович В.И., Фокин И.И. Изменение состава летучих компонентов в процессе культивирования дрожжей *Saccharomyces cerevisiae* в присутствии активаторов // Хранение и переработка сельхозсырья, 2016. № 8. С. 39–44.
- [12] Рипачек В. Биология дереворазрушающих грибов. М.: Лесная пром-сть, 1967. 276 с.
- [13] Фенгел Д., Вегенер Г. Древесина (Химия, ультраструктура, реакции). М.: Лесная пром-сть, 1988. 512 с.
- [14] Прошина О.П., Фахретдинов Х.А., Иванкин А.Н., Капустина Е.А. Формирование пропиточных систем с наночастицами для модификации свойств древесины // Вестник МГУЛ – Лесной вестник, 2016. № 2. С. 137–144.
- [15] Азаров В.И., Винославский В.А., Кононов Г.Н. Практикум по химии древесины и синтетических полимеров: учеб. пособие. М.: МГУЛ, 2006. 248 с.
- [16] Богданович Н.И., Кутакова Н.А., Селянина С.Б. Лабораторный практикум по технологии биологически активных веществ и углеродных адсорбентов. В 2 ч. Ч. 1: Анализ углей и продуктов пиролиза древесины: учеб. пособие. Архангельск: САФУ, 2013. 84 с.
- [17] Кононов Г.Н. Дендрохимия. Химия, нанохимия и биохимия компонентов клеток, тканей и органов древесных растений. В 2 т. М.: МГУЛ, 2015. Т. 2. 626 с.

## Сведения об авторах

**Кононов Георгий Николаевич** — канд. техн. наук, доцент кафедры химии 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](mailto:kononov@mgul.ac.ru)

**Вереvкин Алексей Николаевич** — канд. хим. наук, доцент кафедры химии МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), [verevkin@mgul.ac.ru](mailto:verevkin@mgul.ac.ru)

**Сердюкова Юлия Владимировна** — старший преподаватель кафедры химии МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), [caf-htdip@mgul.ac.ru](mailto:caf-htdip@mgul.ac.ru)

**Зайцев Владислав Дмитриевич** — магистрант МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), [kelertak@bk.ru](mailto:kelertak@bk.ru)

Статья поступила в редакцию 21.11.2017.

## MODIFICATION OF HYDROLYSIS LIGNIN BY PRODUCTS OF WOOD MYCOLIOSIS

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

BMSTU (Mytishchi branch), 1 st. Institutskaya, 141005, Mytishchi, Moscow reg., Russia  
verevkin@mgul.ac.ru

Lignin, the second most common organic compound on Earth, is a product of a plants biosynthesis. Lignin is not used as organic raw material in the modern chemical technologies of plant biomass processing, but it is also a burdensome waste of technological processes. Utilization of the hydrolysis lignin is an important task. The purpose of this work is to study the influence of admixture of wood mycologically destroyed by brown decay fungi to the hydrolysis lignin as raw materials to obtain an absorbent carbon. The quantitative characteristics of the mycologically destroyed fir-tree wood and the hydrolysis lignin are given. The composition of the hydrolysis lignin and mycologically destroyed wood includes the substances with polar functional groups. It is established that the basic extractives of the mycologically destroyed wood have a phenolic nature. These compounds can act as crosslinking agents at a lignin pyrolysis. Some pyrolysis regularities of compositions based on the hydrolysis lignin and mycologically destroyed wood is studied. The influence of modifier quantity on a yield of solid carbon at a pyrolysis mixture is investigated. It is established that the solid carbon content increases in a temperature interval of 350...450 °C on average for 25 % in comparison with the hydrolysis lignin. The ratio of mixture and pyrolysis conditions are obtained: the mass fraction of the mycologically destroyed fir-tree wood in mixture with the hydrolysis lignin makes 12,5 %, temperature of a pyrolysis is 450 °C, pyrolysis time-length takes 2 hours. It should be noted that the coal-raw received from the modified hydrolysis lignin bakes and gets a vessel form for pyrolysis, but not fine powder. It demonstrates the additional structuring of the obtained product.

**Keywords:** pyrolysis, hydrolysis lignin, mycologically destroyed wood

**Suggested citation:** Kononov G.N., Verevkin A.N., Serdyukova Yu.V., Zaytsev V.D. *Modifikatsionnoye gidroliznogo lignina produktami mikoliza drevesiny* [Modification of hydrolysis lignin by products of wood mycoliosis]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2018, vol. 22, no. 1, pp. 78–83. DOI: 10.18698/2542-1468-2018-1-78-83

### References

- [1] Rabinovich M.L. Lignin by-products of soviet hydrolysis industry: resources, characteristics, and utilization as a fuel. *Cellulose Chem. Technol.*, 2014, no. 48 (7–8), pp. 613–631.
- [2] Ilyushkina E.S. *Problemy utilizatsii lignina v Irkutskoy oblasti [Problems of utilization of a lignine in the Irkutsk region]. Aktual'nye voprosy ekonomicheskikh nauk* [Topical issues of economic sciences], 2011, no. 18, pp. 241–247.
- [3] Azarov V.I., Kononov G.N., Goryachev N.L. *Izuchenie komponentnogo sostava mikologicheski razrushennoy drevesiny* [Studying of component structure mycologically the destroyed wood]. *Tekhnologiya i oborudovanie dlya pererabotki drevesiny* [Technology and the equipment for wood processing: Collected papers]. Moscow: MGUL Publ., 2012, v. 358, pp. 126–131.
- [4] Kononov G.N., Mazitov L.A., Klimov V.S. *Termoliz ligninsoderzhashchego syr'ya* [Thermolysis of the lignin containing raw materials]. *Nauchnye trudy MGUL [Collected papers MSFU]*. Moscow: MGUL Publ., 1994, v. 273, pp. 61–65.
- [5] Ivankin A.N., Belyakov V.A., Vostrikova N.L., Kulikovskiy A.V., Likhanova L.M. *Vliyaniye nano-mikrokomponentnogo sostava produktov raspada termolizirovannoy drevesiny na bezopasnost' obrabatyvaemoy produktsii* [Influence of nano-microcomponent structure of products of disintegration of termolizirovanny wood on safety of the processed production]. *Moscow State Forest University Bulletin – Lesnoy vestnik*, 2013, no. 2, pp. 67–72.
- [6] Tin'gaeva E.A., Farberova E.A. *Issledovanie vozmozhnosti ispol'zovaniya lignina i tsellozignina dlya polucheniya granulirovannykh aktivnykh ugley* [Studying of a possibility of use of a lignine and cellolignin for receiving granulated active coals]. *Vestnik PNIPI [PNRPU Bulletin]*, 2016, no. 1, pp. 47–60.
- [7] Gorbacheva G.A., Ivankin A.N., Sanaev V.G., Ageev A.K., Kiryukhin D.P., Kichigina G.A., Kushch P.P., Badamshina E.R. Surface Modification of Cellulose-Containing Materials with Solutions of Tetrafluoroethylene Telomers. *Russian J. Applied Chemistry*, 2017, v. 90, no. 8, pp. 1104–1110.
- [8] Levanova V.P. *Tekhnologiya, svoystva i primeneniye enterosorbentov na osnove gidroliznogo lignina* [Technology, properties and application of enterosorbents on the basis of the hydrolyzing lignine]. *Abstract dis. ... Dr. Sci. (Tech.)*. St. Petersburg: VNI Hydrolysis of plant materials, 1995, 33 p.
- [9] Ivankin A.N., Oliferenko G.L., Kulikovskii A.V., Chernuha I.M., Semenova A.A., Spiridonov K.I., Nasonova V.V. Determination of Unsaturated Fatty Acids with a Migrating Double Bond in Complex Biological Matrices by Gas Chromatography with Flame Ionization and Mass Spectrometry Detection. *J. Analytical Chemistry*, 2016, v. 71, no. 11, pp. 1131–1137. DOI: 10.1134/S1061934816110046
- [10] Rabinovich M.L., Bolobova A.V., Kondrashchenko V.I. *Teoreticheskie osnovy biotekhnologii drevesnykh kompozitov. Kn. I: Drevesina i razrushayushchie ee gryby* [Theoretical bases of biotechnology of wood composites. Book I: Wood and the fungi destroying it]. Moscow: Nauka Publ., 2001, 264 p.
- [11] Ivankin A.N., Verevkin A.N., Kulikovskiy A.V., Chernukha I.M., Krishtafovich V.I., Fokin I.I. *Izmeneniye sostava letuchikh komponentov v protsesse kul'tivirovaniya drozhdzhey Saccharomyces cerevisiae v prisutstvii aktivatorov* [Change of volatile components structure in the process of Saccharomyces cerevisiae yeast cultivation in the presence of activators]. *Khraneniye i pererabotka sel'khozsyrya* [Storage and processing of agricultural raw materials], 2016, no. 8, pp. 39–44.
- [12] Ripachek V. *Biologiya derevorazrushayushchikh grybov* [Biology of the fungi destroying wood]. Moscow: Lesnaya promyshlennost' Publ., 1967, 276 p.
- [13] Fengel D., Vegener G. *Drevesina (Khimiya, ul'trastruktura, reaksii)* [Wood (Chemistry, ultra-structure, reactions)]. Moscow: Lesnaya promyshlennost' Publ., 1988, 512 p.
- [14] Proshina O.P., Fakhretidinov Kh.A., Ivankin A.N., Kapustina E.A. *Formirovaniye propitochnykh sistem s nanochastitsami dlya modi-*

- fkatsii svoystv drevesiny* [Formation of treating systems with nanoparticles for wood properties modification]. Moscow State Forest University Bulletin – Lesnoy vestnik, 2016, no. 2, pp. 137–144.
- [15] Azarov V.I., Vinoslavskiy V.A., Kononov G.N. *Praktikum po khimii drevesiny i sinteticheskikh polimerov* [Workshop on chemistry of wood and synthetic polymers]. Moscow: MGUL Publ., 2006, 248 p.
- [16] Bogdanovich N.I., Kutakova N.A., Selyanina S.B. *Laboratornyy praktikum po tekhnologii biologicheskii aktivnykh veshchestv i uglerodnykh adsorbentov. V 2 ch. Ch. 1: Analiz ugley i produktov piroliza drevesiny* [Laboratory workshop on technology biologically the active materials and carbon adsorbents. In 2 parts. Part. 1: Analysis of coals and pyrolyzed species of wood]. Arkhangelsk: Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov Publ., 2013, 84 p.
- [17] Kononov G.N. *Dendrokhiimiya. Khimiya, nanokhimiya i biogeokhimiya komponentov kletok, tkaney i organov drevesnykh rasteniy. V 2 t.* [Chemistry, nanochemistry and biogeochemistry of cell components, fabrics and bodies of wood plants. In 2 v.]. Moscow: MGUL Publ., 2015, v. 2, 626 p.

## Authors' information

**Kononov Georgiy Nikolaevich** — Cand. Sci. (Tech.), Associate Professor of BMSTU (Mytishchi branch), Corresponding Member of the Russian Academy of Natural Sciences, the Scientific Secretary of Section Chemistry and Engineering Chemistry of Wood Mendeleyev Russian Chemical Society, kononov@mgul.ac.ru

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

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

**Zaytsev Vladislav Dmitrievich** — graduate student of BMSTU (Mytishchi branch), kelertak@bk.ru

Received 21.11.2017.