

УДК 582.28; 577.15; 674.03

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ИЗМЕНЕНИЯ АНАТОМИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ МИКОЛОГИЧЕСКИ РАЗРУШЕННОЙ ДРЕВЕСИНЫ

Г.Н. КОНОНОВ, доц. МГТУ им. Н.Э. Баумана, канд. техн. наук⁽¹⁾,

А.Н. ВЕРЕВКИН, доц. МГТУ им. Н.Э. Баумана, канд. хим. наук⁽¹⁾,

Ю.В. СЕРДЮКОВА, доц. МГТУ им. Н.Э. Баумана⁽¹⁾

kononov@mgul.ac.ru, verevkin@mgul.ac.ru

⁽¹⁾ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)» (Мытищинский филиал), 141005, Московская область, г. Мытищи, ул. 1-я Институтская, д. 1,

Изучено анатомическое строение микологически разрушенной древесины под действием ферментов грибов белой и бурой гнили. Объектами исследования были выбраны образцы древесины березы и ели на последних стадиях разрушения древесины. Представлены микрофотографии анатомической структуры древесины, подвергшейся действию дереворазрушающих грибов. Показана картина разрушения древесной ткани древесины лиственных пород. Изменения происходят за счет процессов энзиматической делигнификации клеточных стенок волокон либриформа. При этом происходит практически полное разрушение истинных срединных пластинок. Это приводит к резкому увеличению внутренней поверхности в древесине, пораженной грибами белой гнили. Показаны изменения анатомической картины древесины хвойных пород, пораженной грибами бурой гнили. В этом случае наблюдается резкое уменьшение толщины клеточных стенок трахеид. Такая трансформация происходит за счет гидролитического действия микоферментов на полисахариды вторичной стенки вплоть до полного ее разрушения. Сложная срединная пластинка остается практически неизменной вследствие содержания большого количества лигнина. Подтверждены данные об изменении химического состава микологически разрушенной древесины и объяснен механизм действия микоферментов на анатомическом уровне. Выявленная картина разрушения анатомической структуры и химические изменения древесинного вещества позволяют предположить перспективные направления технологического использования микологически разрушенной древесины. Древесина, пораженная грибами белой гнили, может быть использована в качестве волокнистого полуфабриката, обогащенного целлюлозой или носителя сорбционных систем с сильно развитой внутренней поверхностью. Древесина, пораженная грибами бурой гнили, может найти применение в качестве активного наполнителя, содержащего как высокомолекулярные, так и низкомолекулярные фракции фенольных соединений.

Ключевые слова: микологически разрушенная древесина, лигноуглеводный комплекс.

Древесина различных древесных пород подвергается действию дереворазрушающих грибов, что приводит к образованию так называемых «гнилей», являющихся следствием действия ферментов, выделяемых этими организмами на лигноуглеводный комплекс древесинного вещества. Такая древесина, на различных стадиях разрушения, становится полностью непригодной для ее использования в качестве конструкционного, декоративного или поделочного материала [1]. Однако специфика изменения ее химического состава создает возможность ее переработки механохимическими и даже химическими методами [2, 3].

Следствием химических превращений лигноуглеводного комплекса окислительно-гидролитического характера под действием грибных ферментов является изменение анатомической структура древесины, изучению которой и посвящена данная работа.

Объектами исследования были выбраны образцы древесины березы и ели, по-

раженные грибами белой и бурой гнилей на последних стадиях разрушения древесины.

Изучение анатомической структуры исследуемых образцов осуществлялось с помощью электронного сканирующего микроскопа Phenon G2 pro, позволяющего получать изображение с увеличением от 80× до 45.000× и разрешением до 25 нм.

В результате проведенных исследований были получены микрофотографии, представленные на рис. 1–3.

В древесине, пораженной грибами белой гнили, визуально наблюдается расслаивание по годичным слоям, а на поздних стадиях – расщепление на волокна. На микрофотографиях (рис. 1, 2) отчетливо проявляются структуры клеточных стенок волокон либриформа, разрушенных под действием ферментов гриба.

При этом на рис. 1 показаны внутренние поверхности этих клеток с густой сетью крупных перфораций – следствием проникновения гифов гриба через простые поры

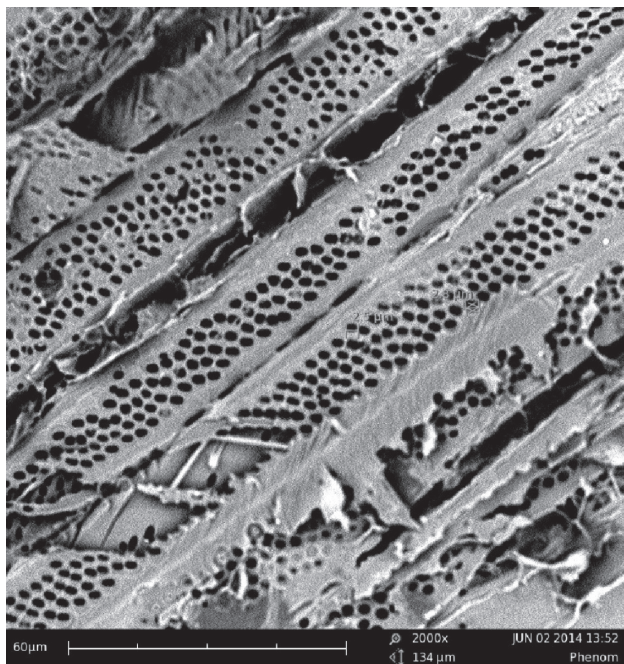


Рис. 1. Электронная микрофотография внутренней поверхности волокон либриформа древесины березы, пораженной грибами белой гнили (увеличение 2000 $\times$)

Fig. 1. Electronic microphotograph of internal surface of a libriform fibers of a birch wood affected with of white rot fungi (increase 2000 $\times$)

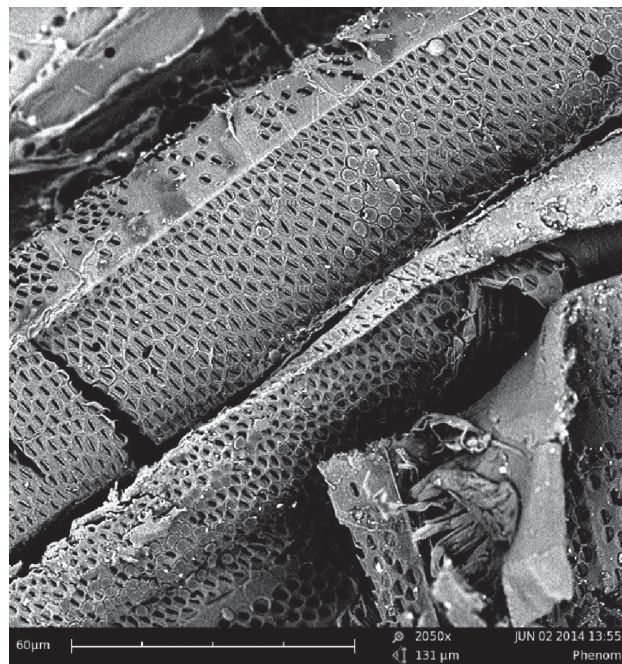


Рис. 2. Электронная микрофотография внешней поверхности волокон либриформа древесины березы, пораженной грибами белой гнили (увеличение 2050 $\times$)

Fig. 2. Electronic microphotograph of external surface of a libriform fibers of a birch wood affected with of white rot fungi (increase 2050 $\times$)

клеточной стенки со стороны полости клетки. На рис. 2 представлены внешние поверхности волокон либриформа с более узкими щелевидными перфорациями вследствие специфичности химического состава первичной стенки. При этом наблюдается практически полное отсутствие истинной срединной пластинки, состоящей из лигнина и соединяющей отдельные клетки в древесную ткань.

Представленная картина разрушения подтверждает данные о том, что ферменты грибов белой гнили (в основном лигнинпероксидаза) окисляют в первую очередь лигнин с последующими неферментативными процессами его превращения с фрагментацией в низкомолекулярные соединения (рис. 3). Холоцеллюлозная матрица при этом подвергается незначительному воздействию, что приводит к резкому относительному увеличению углеводной составляющей в древесине с белой гнилью [4, 5].

Картина разрушения древесины грибами бурой гнили совершенно иная: дре-

весина разрушается равномерно, растрескиваясь вдоль и поперек волокон, образуя призмы, легко растирающиеся в порошок. Вся поверхность древесины пронизана сетью трещин (рис. 4), на внутренних поверхностях которых хорошо видны сильно утонченные за счет разрушения вторичных стенок трахеиды, соединенные истинными срединными пластинками, состоящими из практически нативного лигнина.

Такое явление наблюдается за счет селективного действия ферментов грибов бурой гнили: трансфераз, разрушающих кристаллическую решетку целлюлозы; эндоглюконаз, фрагментирующих ее и целлобиогидразы и глюкогидразы, превращающих ее в низкомолекулярные сахара (рис. 5). Следствием этого являются значительные потери полисахаридной составляющей древесины и ее обогащение низкомолекулярными сахарами и фенольными соединениями за счет разрушения слоев вторичной стенки трахеид и мало деструктурированным био-



Рис. 4. Электронная микрофотография лигнифицированных трахеид древесины ели, пораженной грибами бурой гнили (увеличение 2000^х)

Fig. 4. Electronic microphotograph of lignified tracheids of fir-tree wood affected with the brown rot fungi (increase 2000^x)

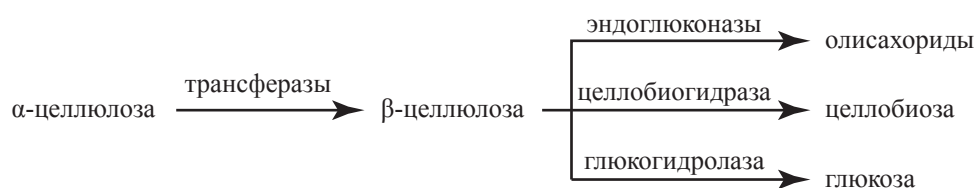


Рис. 5. Схема разрушения целлюлозы под действием ферментов грибов бурой гнили

Fig. 5. The scheme of cellulose destruction under the influence of enzymes of brown rot fungi

лигнином истинной срединной пластинки и первичной стенки [6, 7].

Физико-химические изменения анатомической структуры микологически разрушенной древесины позволяют сделать предположение о возможном использовании древесины, пораженной грибами белой гнили, в качестве волокнистого полуфабриката, обогащенного целлюлозой или носителя сорбционных систем с высокоразвитой поверхностью, а древесины, пораженной грибами бурой гнили, в качестве активного наполнителя, содержащего как высокомолекулярные, так и низкомолекулярные фракции фенольных соединений [8–10].

Библиографический список

1. Вакин, А.Т. Альбом пороков древесины / А.Т. Вакин, О.И. Полубояринов, В.А. Соловьев. – М.: Лесная промышленность, 1970. – 124 с.
2. Рипачек, В. Биология дереворазрушающих грибов / В. Рипачек. – М.: Лесная промышленность, 1967. – 276 с.
3. Фенгел, Д. Древесина. Химия: ультраструктура, реакции / Д. Фенгел, Г. Вегенер. – М.: Мир, 1988. – 512 с.
4. Соловьев, В.А. Изменение химического состава древесины под действием лигнинразрушающих грибов / В.А. Соловьев, О.Н. Малышева, И.Л. Малева и др. // Химия древесины. – 1985. – № 6. – С. 94–100.
5. Ахмедова, З.Р. Лигнолитические, ксиланолитические и целлюлолитические ферменты некоторых базидиальных грибов и их взаимосвязь в разложении лигноцеллюлозы: дисс. ... д-ра биол. наук: 03.00.16 / З.Р. Ахмедова. – Ташкент, 1999. – 42 с.
6. Рабинович, М.Л. Прогресс в изучении целлюлолитических ферментов и механизм биodeградации высокоупорядоченных форм целлюлозы / М.Л. Рабинович, М.С. Мельник // Усп. биол. химии. – 2000. – Т. 40. – С. 205–266.
7. Билай, В.И. Трансформация целлюлозы грибами / В.И. Билай, Т.И. Билай, Е.Г. Мусия. – Киев: Наукова думка, 1982. – 295 с.
8. Кононов, Г.Н. Влияние режимов обработки на пористость структуры и сорбционные характеристики гидролизного лигнина / Г.Н. Кононов, К.Л. Косарев,

- Ю.В. Сердюкова, А.Н. Веревкин // Технология и оборудование для переработки древесины : сб. науч. тр. / МГУЛ. – М., 2016. – Вып. 381. – С. 108–112.
9. Азаров, В.И. Модифицирование микологически разрушенной древесины нанодисперсиями элементарно-органических соединений / В.И. Азаров, Г.Н. Кононов, Н.Л. Горячев, А.А. Фаньковская // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. – 2012. – № 7. – С. 97–101.
10. Monrroy, M. Structural change in wood by brown rot fungi and effect on enzymatic hydrolysis / M. Monrroy, I. Ortega, M. Ramirez, J. Baeza, J. Freer // Enzyme and Microbial Technology. – 2011. – V. 49. – № 5. – pp. 472 – 477.

PHYSICAL AND CHEMICAL CHANGES OF THE ANATOMICAL STRUCTURE MYCOLOGIC DESTRUCTED WOOD

Kononov G.N., Assoc. Prof. Bauman Moscow State Technical University, Ph.D. (Tech.)⁽¹⁾; **Verevkin A.N.**, Assoc. Prof. Bauman Moscow State Technical University, Ph.D. (Tech.)⁽¹⁾; **Serdyukova Yu.V.**, Assoc. Prof. Bauman Moscow State Technical University⁽¹⁾

kononov@mgul.ac.ru, verevkin@mgul.ac.ru

⁽¹⁾Bauman Moscow State Technical University (Mytishchi branch),
1 st. Institutskaya, 141005, Mytishchi, Moscow reg., Russia

The anatomic structure of the mycological destroyed wood under effect of white and brown rots fungi enzymes has been studied. A birch and fir-tree wood exemplars at the last stages of wood destruction were chosen as research objects. Microphotographs of anatomical wood structure under the wood-destroying fungi are presented. The picture of deciduous hardwood tissue destruction is shown. The destruction occurs with processes of enzymatic delignification of libriform fibers cell-like walls. At the same time there is practically the final fracture of the true middle lamellas. It leads to a sharp increase of internal surface in a wood, affected with of white rot fungi. Changes of an anatomic picture of the wood of coniferous breeds struck with fungi of brown rot are shown. In this case, sharp decrease of thickness of cell-like walls of tracheids is observed. Such transformation occurs due to hydrolytic action of mycological enzymes on polysaccharides of a secondary wall up to its final fracture. The composite middle lamella remains almost invariable due to the maintenance of a large number of a lignin. Data on chemical composition change of the mycologic destroyed wood are confirmed and the mycological enzymes action mechanism is explained at the anatomic level. The revealed picture of destruction of anatomical structure and chemical changes of woody substance allow assuming the perspective directions of technological use mycological destroyed wood. The wood struck with fungi of white rot can be used as the fibrous semi-finished product enriched with cellulose or the carrier the sorbent systems with strongly developed internal surface. The wood struck with fungi of brown rot can find application in active filler quality containing both high molecular weight and low molecular weight fractions of phenolic compounds.

Keywords: the mycological destroyed wood, the lignin carbohydrate complex.

References

- Vakin A.T., Poluboyarinov T.I., Solovev V.A. *Al'bom porokov drevesiny* [Album of defects of wood], Moscow: Lesnaya promyshlennost' [Forest industry], 1970, 124 p.
- Ripachek V. *Biologiya derevorazrushayushchikh gribov* [Biology the wood destroying fungi], Moscow: Lesnaya promyshlennost' [Forest industry], 1967, 276 p.
- Fengel D., Vegener G. *Drevesina. Khimiya: ul'trastruktura, reaktsii* [Wood. Chemistry: metastructure, reactions], Moscow: Mir [World], 1988, 512 p.
- Solov'ev V.A., Malysheva O.N., Maleva I.L., Saplin V.I. *Izmenenie khimicheskogo sostava drevesiny pod deystviem ligninrazrushayushchikh gribov* [Change of chemical composition of wood under the influence of the lignindestroying fungi], *Khimiya drevesiny* [Wood chemistry], 1985, № 6, pp. 94-100.
- Akhmedova Z.R. *Lignoliticheskie, ksilanoliticheskie i tsellyuloliticheskie fermenty nekotorykh bazidial'nykh gribov i ikh vzaimosvyaz' v razlozhenii lignotsellyulozy*. Diss. dr. biol. nauk. [Lignolytic, xylanlytic and cellulolytic enzymes of some the basidium fungi and their interrelation in lignocellulose decomposition. Dr. Biol. Sci. Diss.], Tashkent, 1999, 42 p.
- Rabinovich M.L., Mel'nik M.S. *Progress v izuchenii tsellyuloliticheskikh fermentov i mekhanizm biodegradatsii vysokoporyadochenykh form tsellyulozy* [Progress in studying the cellulolytic enzymes and the mechanism of biodegradation of the high-ordered cellulose forms], *Biology Bulletin Reviews*, 2000, V. 40, pp. 205-266.
- Bilay V.I., Bilay T.I., Musiya E.G. *Trasformatsiya tsellyulozy grihami* [Trasformation of cellulose by fungi], Kiev: Naukova dumka [Scientific opinion], 1982, 295 p.
- Kononov G.N., Kosarev K.L., Serdyukova Yu.V., Verevkin A.N. *Vliyanie rezhimov ob-rabotki na poristost' struktury i sobrskionnye kharakteristiki gidroliznogo lignin* [Influence of the processing modes on structure porosity and sorption characteristics of the hydrolyzing lignine] *Tekhnologiya i oborudovanie dlya pererabotki drevesiny: sb. nauch. tr. V. 381. [Technology and equipment for wood processing: Collected papers]*. Moscow: MSFU, 2016, pp. 108-112.
- Azarov V.I., Kononov G.N., Goryachev N.L., Fan'kovskaya A.A. *Modifitsirovanie miko-logicheskii razrushennoy drevesiny nanodispersiyami elementorganicheskikh soedineniy* [Modifying mycologic destroyed wood by the elementorganic compounds nanodispersions], Moscow state forest university bulletin - Lesnoy vestnik, 2012, № 7, pp. 97–101.
- Monrroy M., Ortega I., Ramirez M., Baeza J., Freer J. Structural change in wood by brown rot fungi and effect on enzymatic hydrolysis. M. Monrroy, etc. *Enzyme and Microbial Technology*, 2011, V. 49, № 5, pp. 472-477.