

## ОСОБЕННОСТИ ДЕЛИГНИФИКАЦИИ ДРЕВЕСИНЫ БЕРЕЗЫ ПОВИСЛОЙ (*BETULA PENDULA* L.) МЕТОДАМИ МИКОДЕСТРУКЦИИ И СУЛЬФИТНОЙ ЩЕЛОЧНОЙ ВАРКИ

Е.А. Загребин✉, К.Е. Ведерников

ФГБОУ ВО «Удмуртский государственный университет», Россия, 426034, Удмуртская Республика, г. Ижевск, ул. Университетская, д. 1

i.am.yeti@yandex.ru

Представлены результаты исследования делигнификации древесины березы повислой (*Betula pendula* L.) методом культивирования в лабораторных условиях грибов из рода Вешенки (*Pleurotus*) в течение трех временных интервалов. Приведены результаты извлечения лигнина из древесины методом химической обработки гидроксидом натрия и сульфитом натрия в различных концентрациях и при разной длительности обработки. Выявлены затруднения в промывке сырья при использовании высококонцентрированных растворов. Получены данные по изменению содержания основных структурных и неструктурных компонентов древесины и ее плотности в процессе делигнификации.

**Ключевые слова:** химия древесины, полисахариды, лигнин, дереворазрушающие грибы, делигнификация

**Ссылка для цитирования:** Загребин Е.А., Ведерников К.Е. Особенности делигнификации древесины березы повислой (*Betula pendula* L.) методами микодеструкции и сульфитной щелочной варки // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2022. Т. 26. № 6. С. 141–147. DOI: 10.18698/2542-1468-2022-6-141-147

Как известно, методы изменения механических свойств древесины (гидротермическая и тепловая обработка, холодная прокатка и т. д.) снижают прочность и повышают уязвимость древесного материала к воздействию окружающей среды. Это обусловлено деструкцией основных структурных компонентов древесины, придающих ей прочность (лигнина и полисахаридов) [1–4]. Древесный материал как во влажной среде, так и при последующей сушке деформируется, изменяет цвет и теряет прочность.

Согласно исследованиям, при частичном извлечении из древесины лигнина с последующим горячим прессованием сырья можно повысить прочность материала в несколько раз [5]. Это обуславливает полное разрушение клеточных стенок древесины и связывание целлюлозных волокон на надмолекулярном уровне. Получаемый конструкционный материал существенно отличается от натуральной древесины высокой прочностью, ударной вязкостью, физической и механической стабильностью независимо от условий среды. Делигнификация древесины осуществляется при обработке высококонцентрированными растворами гидроксида натрия NaOH и сульфита натрия Na<sub>2</sub>SO<sub>3</sub>. В связи со стремлением к снижению воздействия производственных процессов на окружающую среду, подобная сульфитная щелочная варка древесины приобрела актуальность и представляет большой научный и практический интерес [6, 7]. Кроме того, применение таких

биологических деструкторов лигноцеллюлозного комплекса древесины, как мицелиальные грибы и возбудители белой гнили, также признано актуальным. Биотехнологии снижают концентрацию лигнина, что вызывает снижение концентрации применяемых химических реагентов или упрощение технологических циклов обработки древесного сырья [8–11]. Некоторые грибы-деструкторы разрушают лигнин, однако практически не повреждают полисахариды, образуя из них легкометаболизируемую массу, которую в дальнейшем можно использовать для производства высокопрочных материалов [12, 13].

### Цель работы

Цель работы — исследование воздействия на древесное сырье дереворазрушающих грибов и водных растворов гидроксида натрия NaOH и сульфита натрия Na<sub>2</sub>SO<sub>3</sub> в различных условиях обработки.

### Материалы и методы исследования

В таежных лесах широко распространены заболевания растений, вызываемые различными видами грибов. Отчасти это типичные сапрофиты, которые участвуют в переработке отмершей древесины и ее минерализации. К возбудителям заболеваний относятся также активные паразиты, например, *Fomitopsis annosa*, *Phellinus pini var abietis*, поселяющиеся на живых деревьях и вызывающие их гибель. Исследователи отмечают, что наиболее высокая пораженность заболеваниями, вызванными грибами, зафиксирована

в высокопроизводительных типах леса [14, 15]. Между тем древесина хвойных пород деревьев (в том числе еловая) содержит большое количество экстрактивных веществ — смол, воскоподобных и других соединений, которые обладают высокой биологической активностью и производятся деревом в качестве защитных соединений для подавления патогенных организмов, в первую очередь бактерий и грибов [16–18]. В связи с этим в качестве объекта исследования была выбрана древесина березы повислой (*Betula pendula* L.) как распространенного в таежных лесах Удмуртии вида лиственных деревьев, формирующего высокопроизводительные леса. В качестве микодеструкторов были выбраны мицелиальные белогнилотные грибы из рода Вешенки (*Pleurotus*). Ферментативный комплекс (лактаза, фенолоксидаза, пероксидаза и др.) этих грибов позволяет им быть активными деструкторами лигнина и целлюлозы [19]. Высокая плотность ферментов, в т. ч. цитохрома P450, помогает этим грибам полностью разлагать наиболее стойкий ароматический полимерный лигнин или его низкомолекулярные продукты разложения [9] и выживать растению в стрессовых условиях вследствие детоксикации широкого спектра ксенобиотиков на растительной основе [20]. Простота выращивания вешенок практически на любом обессмоленном субстрате позволяет признать их идеальными кандидатами для разрабатываемой технологии.

Изучение процессов разложения лигнина грибами рода *Pleurotus* проводили по трем видам грибов: вешенке обыкновенной (*Pleurotus ostreatus*), вешенке королевской (*Pleurotus eryngii*) и вешенке индийской (*Pleurotus pulmonarius*).

В ходе эксперимента древесина березы измельчалась механическим способом до фракции 5...10 мм, стерилизовалась автоклавированием в течение 15 мин при температуре 121 °С в целях препятствия развитию плесневых грибов. Стерильную древесину пропитывали дистиллированной водой в течение 2 сут при температуре 25 ± 1 °С без воздействия давлением. Затем избыток влаги удаляли с помощью сита. Влажность полученного субстрата определяли расчетно-весовым методом, высушивая образец древесины до постоянной массы (температура сушки 105 °С) и используя анализатор влажности ОНАУС МВ27 с дискретностью 0,001 г. На протяжении всего эксперимента фиксировали показатели влажности, которая поддерживалась на уровне 60...70 %. Увлажненный субстрат помещали в стерилизованные ультрафиолетовым излучением непрозрачные пластиковые контейнеры с отверстиями для вентиляции (по 200 г каждый). Затем в подготовленный древесный субстрат вносили грибной

мицелий, а контейнеры помещали в оборудованные прозрачные инкубационные блоки для контроля хода эксперимента и поддержания постоянных температуры и влажности воздуха (25 ± 1 °С и 80 ± 5 % соответственно) на 21 сут. Развитие грибного мицелия наблюдали визуально: первоначально посредством микроскопа Levenhuk D870T при 200-кратном увеличении, затем невооруженным глазом. Учет содержания лигнина и полисахаридов проводили каждые 7 сут методом сернокислого гидролиза [21].

В отличие от биологической деструкции лигнина химическая обработка древесины приводит к более существенному и, что самое важное, контролируемому снижению содержания лигнина и гемицеллюлозы в древесине при незначительном снижении содержания целлюлозы, в основном вследствие различной устойчивости этих трех компонентов к воздействию температуры и щелочей [6, 22]. При частичном удалении лигнина и гемицеллюлозы из клеточной стенки химическим методом древесина становится более пористой и менее жесткой.

Для исследования воздействия на древесное сырье растворов гидроксида NaOH и сульфита натрия Na<sub>2</sub>SO<sub>3</sub> применялась методика, описанная в работе [5].

Древесину измельчили механическим способом до фракции 1...2 мм, затем определили ее влажность для пересчета получаемых показателей на абсолютно сухую древесину, а также исходное содержание полисахаридов и лигнина. В целях повышения точности получаемых показателей предварительно вычислили количество неструктурных компонентов древесины, экстрагируемых водой при температуре кипения. К таким веществам относят преимущественно олиго- и моносахариды, пектиновые вещества, камеди, белки, красители, циклические спирты и танины. Их общая доля для лиственных деревьев обычно не превышает 8...10 % массы абсолютно сухой древесины.

Растворы для обработки древесины были изготовлены с использованием гидроксида натрия NaOH (химически чистый, > 97 %) и сульфита натрия Na<sub>2</sub>SO<sub>3</sub> (химически чистый, > 98 %). Растворы имели следующие концентрации веществ:

- 1) 1 М NaOH; 0,1 М Na<sub>2</sub>SO<sub>3</sub> (опыт 1);
- 2) 1,75 М NaOH; 0,2 М Na<sub>2</sub>SO<sub>3</sub> (опыт 2);
- 3) 2,5 М NaOH; 0,4 М Na<sub>2</sub>SO<sub>3</sub> (опыт 3).

Для обработки каждым вариантом раствора брали навески древесины массой около 1,0 г. Всего было исследовано 27 образцов древесины. Обработку производили при температуре кипения растворителя (около 100 °С) в течение различного времени (1, 2 и 3 ч) без воздействия повышенным давлением, гидромодуль 1:50.

Т а б л и ц а 1

**Содержание основных структурных компонентов древесины березы повислой при разложении грибами рода *Pleurotus* (относительно массы в абсолютно сухом состоянии)**

The content of the European birch main wood structural components when decomposed by fungi the genus *Pleurotus* (relative to the weight in an absolutely dry state)

Срок развития мицелия, дней	Вешенка обыкновенная		Вешенка королевская		Вешенка индийская	
	Полисахариды, %	Лигнин, %	Полисахариды, %	Лигнин, %	Полисахариды, %	Лигнин, %
Контроль	47,90 ± 2,40 45,19...50,61	33,10 ± 1,66 31,23...34,97	47,90 ± 2,40 45,19...50,61	33,10 ± 1,66 31,23...34,97	47,90 ± 2,40 45,19...50,61	33,10 ± 1,66 31,23...34,97
7	46,40 ± 2,32 43,77...49,03	32,72 ± 1,63 30,85...34,55	47,81 ± 5,44 41,65...53,97	33,10 ± 2,14 30,69...35,52	46,50 ± 2,32 43,87...49,13	32,89 ± 1,64 31,03...34,75
14	38,21 ± 1,91 36,04...40,36	27,59 ± 1,38 26,04...29,16	40,32 ± 2,02 38,04...42,60	27,94 ± 1,40 26,36...29,52	37,75 ± 1,89 35,61...39,89	28,02 ± 1,40 26,43...29,61
21	32,13 ± 1,60 30,28...33,92	20,20 ± 1,01 19,06...21,34	31,87 ± 1,59 30,07...33,67	21,78 ± 1,09 20,55...23,01	30,31 ± 1,52 28,60...32,02	21,54 ± 1,08 20,32...22,76

*Примечание.* Указаны среднее значение показателя ± стандартное отклонение, доверительный интервал для среднего значения (при  $p < 0,05$ ).

Обработанную древесину отфильтровали через бумажный фильтр, промывали горячей дистиллированной водой (100 мл) и высушивали до постоянной массы. Массу извлеченных веществ определяли расчетно-весовым методом по разности масс до и после обработки.

## Результаты и обсуждение

Изучение биохимического состава древесины березы повислой (*Betula pendula* L.) при культивировании грибов-деструкторов сводилось к определению содержания основных структурных компонентов. Первичное содержание полисахаридов составило  $47,90 \pm 2,40$  %, содержание лигнина —  $33,10 \pm 1,66$  % относительно массы древесины в абсолютно сухом состоянии.

По результатам исследования выявлено, что степень деструкции лигнина и целлюлозы напрямую зависит от длительности культивации дереворазрушающих грибов. На первоначальных этапах развития грибов разложение древесины идет достаточно медленно, что обусловлено особенностями роста и распространения мицелия по субстрату. На седьмые сутки начинается активная деструкция как лигнина, так и полисахаридов, причем разложение первого идет интенсивнее. Соотношение содержания полисахаридов и лигнина в субстрате с начала культивации приблизительно сохраняются, однако их абсолютное содержание снижается более чем на 30 % (табл. 1).

Для микодеструкции лигнина выявлен наиболее оптимальный вид — вешенка обыкновенная (*Pleurotus ostreatus*) вследствие относительно высокой динамики развития мицелия, наибольшего показателя разложения лигнина (разложено около 39 % изначального лигнина) с минимальным воздействием на целлюлозу.

Т а б л и ц а 2

**Биохимические показатели древесины березы повислой (*Betula pendula* L.) до химической обработки (относительно массы древесины в абсолютно сухом состоянии)**

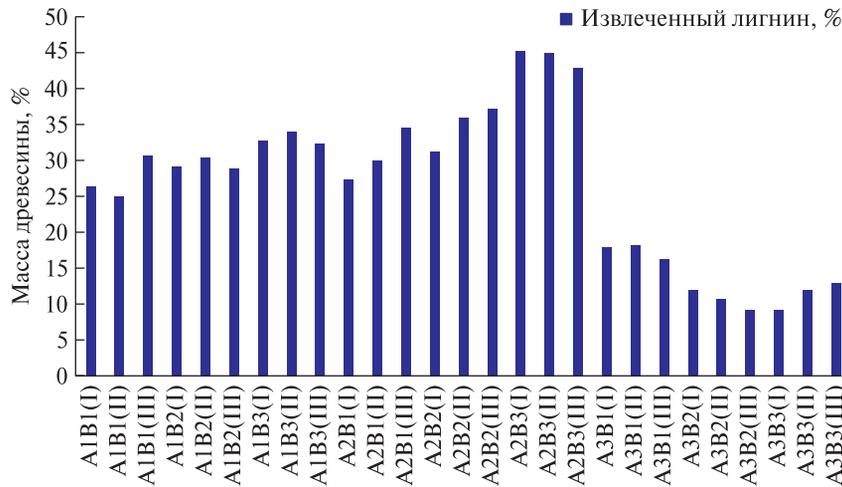
Biochemical parameters of European birch wood (*Betula pendula* L.) before chemical treatment (relative to the weight of wood in an absolutely dry state)

Влажность древесины, %	Содержание водорастворимых веществ, %	Содержание полисахаридов, %	Содержание лигнина, %
7,97 ± 0,40 7,52...8,42	6,20 ± 1,31 4,73...7,68	36,12 ± 2,16 33,67...38,57	49,71 ± 1,93 47,52...51,90

*Примечание.* Указаны среднее значение показателя ± стандартное отклонение, доверительный интервал для среднего значения (при  $p < 0,05$ ).

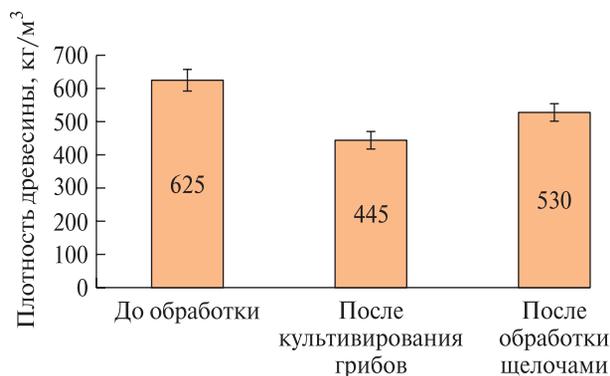
Изучение биохимического состава древесины при химической обработке растворами гидроксида и сульфита натрия сводилось к определению содержания основных структурных компонентов, а также водорастворимых экстрактивных веществ (табл. 2).

По результатам химической обработки можно сделать вывод о том, что с повышением концентрации гидроксида натрия и сульфита натрия в растворе, а также времени обработки достоверно увеличивается процент извлеченного из древесины лигнина. Однако некоторыми исследователями установлено, что при повышении концентрации щелочей структура древесины становится более пористой, а остающийся в порах растворитель при высыхании затрудняет промывание древесины [5]. Это подтверждают и наши исследования — при обработке высококонцентрированным раствором гидроксида и сульфита натрия



**Рис. 1.** Лигнин, извлеченный водным раствором гидроксида натрия NaOH и сульфита натрия Na<sub>2</sub>SO<sub>3</sub>: критерий А — концентрация NaOH и Na<sub>2</sub>SO<sub>3</sub> в растворе (1 — 1М, 0,1М; 2 — 1,75М, 0,2М; 3 — 2,5М, 0,4М), критерий В — длительность обработки (1 — 1 ч, 2 — 2 ч, 3 — 3 ч)

**Fig. 1.** Lignin extracted with an aqueous solution of sodium hydroxide NaOH and sodium sulfite Na<sub>2</sub>SO<sub>3</sub>: criterion A — the concentration of NaOH and Na<sub>2</sub>SO<sub>3</sub> in solution (1 — 1M, 0.1M; 2 — 1.75M, 0.2M; 3 — 2.5M, 0.4M), criterion B — duration of treatment (1 — 1 h, 2 — 2 h, 3 — 3 h)



**Рис. 2.** Плотность древесины березы повислой (*Betula pendula* L.) при различных методах делигнификации, кг/м<sup>3</sup>

**Fig. 2.** Density of European birch wood (*Betula pendula* L.) with different methods of delignification, kg/m<sup>3</sup>

(2,5 М и 0,4 М соответственно) снижается потеря массы древесины, определить точное количество извлеченного лигнина расчетно-весовым методом не представляется возможным (рис. 1).

Усредненные показатели представлены в табл. 3.

Оптимальные условия химического извлечения лигнина из древесины выявлены при проведении опыта 2: варка древесного сырья в растворе 1,75 М NaOH и 0,2 М Na<sub>2</sub>SO<sub>3</sub> при температуре кипения в течение 3 ч. Усредненный процент извлеченного в таких условиях лигнина для древесины березы повислой составил 44,20 %, т. е. 88,9 % общего исходного содержания лигнина в данных образцах.

Т а б л и ц а 3

**Лигнин, извлеченный в процессе обработки растворами гидроксида натрия NaOH и сульфита натрия Na<sub>2</sub>SO<sub>3</sub> (относительно массы древесины в абсолютно сухом состоянии)**

**Lignin extracted during treatment with solutions of sodium hydroxide NaOH and sodium sulfite Na<sub>2</sub>SO<sub>3</sub> (relative to the weight of wood in an absolutely dry state)**

Время обработки, ч	1 М NaOH; 0,1 М Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> , %	1,75 М NaOH; 0,2 М Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> , %	2,5 М NaOH; 0,4 М Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> , %
1	28,19 ± 2,69 25,15...31,24	29,29 ± 1,75 27,31...31,28	17,52 ± 1,10 16,28...18,76
2	29,13 ± 0,27 28,83...29,43	32,99 ± 2,42 30,24...35,73	20,77 ± 1,50 19,07...22,47
3	33,22 ± 3,05 29,78...36,67	44,20 ± 1,17 42,88...45,53	21,49 ± 2,05 19,17...23,81

*Примечание.* Указаны среднее значение показателя ± стандартное отклонение, доверительный интервал для среднего значения (при  $p < 0,05$ )

Плотность древесины измерялась в соответствии с ГОСТ 16483.1–84 [23] в воздушно-сухом состоянии (при влажности в момент испытания) на трех этапах исследования: до делигнификации, после культивирования грибов-деструкторов и после химической обработки. Для определения плотности подготавливались образцы древесины прямоугольной формы (длинной стороной вдоль волокон) размером 20×20×30 мм. Размеры образца древесины определяли с помощью штангенциркуля. Влажность древесины измеряли

анализатором влажности ОНАУС МВ27 с точностью до 0,001 г. Полученные показатели в соответствии с ГОСТ 16483.1–84 округляли до 5 кг/м<sup>3</sup>.

Средняя влажность образцов древесины в воздушно-сухом состоянии в момент определения плотности составила 7,97 % (рис. 2).

Плотность древесины при обработке щелочами снизилась на 15,2 %, при микодеструкции — на 28,8 %. Полученные данные свидетельствуют о более значительном изменении плотности древесины при обработке дереворазрушающими грибами, с учетом сохранения исходного объема образца, что соответствует коррозионному разрушению с образованием белой гнили [24, 25].

## Выводы

В результате проведенных исследований было изучено воздействие на древесное сырье дереворазрушающих грибов и раствора гидроксида натрия NaOH и сульфита натрия Na<sub>2</sub>SO<sub>3</sub> в различных условиях обработки.

Наилучшие показатели удаления лигнина с сохранением целлюлозы наблюдались при культивировании вешенки обыкновенной (*Pleurotus ostreatus*) — до 39 % массы древесины в абсолютно сухом состоянии.

Варка древесины в течение 3 ч при температуре около 100 °С показала наилучшие результаты по удалению лигнина — потеря лигнина при такой обработке составила 21,49...44,20 % массы древесины в абсолютно сухом состоянии. Оптимальная концентрация химических веществ составила 1,75 М NaOH и 0,2 М Na<sub>2</sub>SO<sub>3</sub> (деструкция лигнина — 29,29...44,20 % массы древесины в абсолютно сухом состоянии). При увеличении концентрации веществ наблюдаются значительные затруднения в промывании древесного сырья. Средняя плотность древесины при обработке щелочами снизилась на 15,2 %, при микодеструкции — на 28,8 %.

## Список литературы

- [1] Дьяконов К.Ф. Влияние гидротермической обработки на прочность древесины березы и лиственницы // *Деревообрабатывающая промышленность*, 1967. № 4. С. 9–12.
- [2] Зархина Е.М., Кротов Л.Н., Ослонович В.Н. Влияние высоких температур на механические свойства и химический состав древесины лиственницы // *Лиственница*. Красноярск, 1968. С. 462–469.
- [3] Орлов А.А., Соколов В.Л. Изменение физико-механических свойств древесины лиственницы при гидротермической обработке. Обзор // *Хвойные бореальной зоны*, 2006. Т. 23. № 3. С. 147–158.
- [4] Орлов А.А., Греб Н.А. Исследование послойной прочности пиломатериалов // *Химико-лесной комплекс — проблемы и решения*. Красноярск: Изд-во СибГТУ, 2001. С. 380–382.
- [5] Song J., Chen C., Zhu S. Processing bulk natural wood into a high-performance structural material // *Nature*, 2018, v. 554, pp. 224–228. DOI:10.1038/nature25476
- [6] Майорова Л.П. О некоторых особенностях химизма сульфитной щелочной варки березовой древесины // *ИВУЗ Лесной журнал*, 2007. № 5. С. 94–101.
- [7] Ingruber O.V. Pulping with SO<sub>3</sub>H at hot pH 8...11 // *Pulp and Paper Magazine of Canada*, 1970, v. 71, no. 22, p. 23.
- [8] Rodrigues P.O., Gurgel L.V.A., Pasquini D., Badottiet F. Lignocellulose-degrading enzymes production by solid-state fermentation through fungal consortium among Ascomycetes and Basidiomycetes // *Renewable Energy*, 2020, v. 145, pp. 2683–2693.
- [9] Peralta R.M., Côrrea R.C.G., Kato C.G., da Silva B.P. Enzymes from Basidiomycetes — Peculiar and Efficient Tools for Biotechnology // *Biotechnology of Microbial Enzymes*, 2017, pp. 119–149. DOI:10.1016/B978-0-12-803725-6.00005-4
- [10] Jacobs-Young C., Venditti R., Joyce T. Effect of enzymatic pretreatment on the diffusion of sodium hydroxide in wood // *Tappi J.*, 1998, v. 81, no. 1, pp. 260–266.
- [11] Клягина Ю.П., Смирнов В.Ф., Стручкова И.В., Трофимов А.Н., Кислицын А.Н. Биодеструкция лигнина из древесно-стружечных плит микроскопическими грибами // *Химия растительного сырья*, 2005. № 4. С. 41–44.
- [12] Новожилов Е.В., Пошина Д.Н. Биотехнологии в производстве целлюлозы для химической переработки (обзор) // *Химия растительного сырья*, 2011. № 3. С. 15–32.
- [13] Озолиня 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.
- [14] Соколов Д.В. Корневая гниль от опенка (*Ag. mellea* (vahl.ex Fr) Karst.) в лесах таежной зоны и возможные мероприятия по борьбе с нею // *Сб. статей по обмену производственно-техническим опытом по лесному хозяйству и лесоустройству*. Л.: Лесная пром-сть, 1963. С. 228–233.
- [15] Усков С.П. Фауна спелых и перестойных ельников Кадниковского лесничества // *Тр. Института леса и древесины*, 1963. Т. 53. С. 212–237.
- [16] Kirker G.T., Blodgett A.B., Arango R.A., Lebow P.K., Clausen C.A. The role of extractives in naturally durable wood species // *International Biodeterioration & Biodegradation*, 2013, v. 82, pp. 53–58.
- [17] Singh T., Singh A.P. A review of natural products as wood protectant // *Wood Science Technology*, 2012, v. 46, pp. 851–870.
- [18] Yang D.Q. Potential utilization of plant and fungal extracts for wood protection // *Forest Product J.*, 2009, v. 54, pp. 37–39.
- [19] Zamora-Zamora H.D., Silva T.A.L., Varão L.H.R., Baffi M.A., Pasquini D. Simultaneous production of cellulases, hemicellulases, and reducing sugars by *Pleurotus ostreatus* growth in one-pot solid state fermentation using *Alstroemeria* sp. Waste // *Biomass Conversion and Biorefinery*, 2021, v. 12, no. 1. DOI:10.1007/s13399-021-01723-3
- [20] Badalyan S.M., Kues U. Morphological characteristics of vegetative mycelia and anamorphs in different collections of xylotrophic basidiomycetous mushrooms // *Биоразнообразие и экология грибов и грибоподобных организмов Северной Евразии : материалы Всерос. конф. с междунар. участием*, Екатеринбург, 20–24 апреля 2015 г. Екатеринбург: Изд-во Уральского университета, 2015. С. 300–302.
- [21] Оболенская А.В., Ельницкая З.П., Леонович А.А. Лабораторные работы по химии древесины и целлюлозы. М.: Экология, 1991. 320 с.

- [22] Алиев Р.Г., Павлова Е.А., Терентьева Э.П., Удовенко Н.К. Строение и химия древесины и ее компонентов. СПб.: Изд-во СПбГТУРП, 2011. 37 с.
- [23] ГОСТ 16483.1–84. Древесина. Метод определения плотности. Введ. 01.07. 85. М.: Изд-во стандартов, 1999. 7 с.
- [24] Рабинович М.Л. Теоретические основы биотехнологии древесных композитов. Кн. 1. Древесина и разрушающие ее грибы. М.: Наука, 2001. 264 с.
- [25] Екабсоне М.Я., Крейцберг З.Н., Сергеева В.Н., Киришбаум И.З. Исследование энзиматически разрушенной древесины // Химия древесины, 1978. № 2. С. 61–64.

## Сведения об авторах

**Загребин Егор Александрович**  — ассистент кафедры инженерной защиты окружающей среды, ФГБОУ ВО «Удмуртский государственный университет», i.am.yeti@yandex.ru

**Ведерников Константин Евгеньевич** — канд. биол. наук, доцент кафедры инженерной защиты окружающей среды, ФГБОУ ВО «Удмуртский государственный университет», wke-les@rambler.ru

Поступила в редакцию 11.05.2022.

Одобрено после рецензирования 20.09.2022.

Принята к публикации 21.09.2022.

## BETULA PENDULA L. WOOD DELIGNIFICATION BY MYCODESTRUCTION AND SULFITE ALKALINE PROCESS

**E.A. Zagrebin** , **K.E. Vedernikov**

Udmurt State University, 1, Universitetskaya st., 426034, Izhevsk, Udmurt Republic, Russia

i.am.yeti@yandex.ru

The results of a study on the delignification of birch wood (*Betula pendula* L.) by cultivating mushrooms from the genus *Pleurotus* in laboratory conditions for three time intervals are presented. The results of extraction of lignin from wood by chemical treatment with sodium hydroxide and sodium sulfite in different concentrations, as well as at different processing times, are presented. Difficulties in washing raw materials using highly concentrated solutions have been identified. Data on the study of changes in the content of the main structural and non-structural components of wood, as well as the density of wood in the process of delignification are presented.

**Keywords:** wood chemistry, polysaccharides, lignin, wood-destroying fungi, delignification

**Suggested citation:** Zagrebin E.A., Vedernikov K.E. *Osobennosti delignifikatsii drevesiny berezy povisloy (Betula pendula L.) metodami mikodestruxtsii i sul'fitnoy shchelochnoy varki [Betula pendula L. wood delignification by mycodestruction and sulfite alkaline process]. Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin, 2022, vol. 26, no. 6, pp. 141–147. DOI: 10.18698/2542-1468-2022-6-141-147*

## References

- [1] D'yakov K.F. *Vliyaniye gidrotermicheskoy obrabotki na prochnost' drevesiny berezy i listvennitsy* [The effect of hydrothermal treatment on the strength of birch and larch wood]. *Derevoobrabatyvayushchaya promyshlennost'* [Woodworking industry], 1967, no. 4, pp. 9–12.
- [2] Zarkhina E.M., Krotov L.N., Oslovovich V.N. *Vliyaniye vysokikh temperatur na mekhanicheskie svoystva i khimicheskiy sostav drevesiny listvennitsy* [Influence of high temperatures on mechanical properties and chemical composition of larch wood]. *Listvennica* [Larch]. Krasnoyarsk, 1968, pp. 462–469.
- [3] Orlov A.A., Sokolov V.L. *Izmeneniye fiziko-mekhanicheskikh svoystv drevesiny listvennitsy pri gidrotermicheskoy obraboke. Obzor* [Change of physical and mechanical properties of larch wood during hydrothermal treatment. Review]. *KHBZ*, 2006, v. 23, no. 3, pp. 147–158.
- [4] Orlov A.A., Greb N.A. *Issledovaniye posloynnoy prochnosti pilomaterialov* [Investigation of the layered strength of lumber]. *Khimiko-lesnoy kompleks — problemy i resheniya*. [Chemical-forest complex — problems and solutions]. Krasnoyarsk: SibSTU, 2001, pp. 380–382.
- [5] Song J., Chen C., Zhu S. Processing bulk natural wood into a high-performance structural material. *Nature*, 2018, v. 554, pp. 224–228. DOI:10.1038/nature25476
- [6] Mayorova L.P. *O nekotorykh osobennostyakh khimizma sul'fitnoy shchelochnoy varki berezovoy drevesiny* [On some features of the chemistry of sulfite alkaline cooking of birch wood]. *Lesnoy Zhurnal (Russian Forestry Journal)*, 2007, no. 5, pp. 94–101.
- [7] Ingruber O.V. Pulping with SO<sub>3</sub>OH at hot pH 8...11. *Pulp and Paper Magazine of Canada*, 1970, v. 71, no. 22, p. 23.
- [8] Rodrigues P.O., Gurgel L.V.A., Pasquini D., Badottiet F. Lignocellulose-degrading enzymes production by solid-state fermentation through fungal consortium among Ascomycetes and Basidiomycetes. *Renewable Energy*, 2020, v. 145, pp. 2683–2693.
- [9] Peralta R.M., Côrrea R.C.G., Kato C.G., da Silva B.P. Enzymes from Basidiomycetes — Peculiar and Efficient Tools for Biotechnology. *Biotechnology of Microbial Enzymes*, 2017, pp. 119–149. DOI:10.1016/B978-0-12-803725-6.00005-4

- [10] Jacobs-Young C., Venditti R., Joyce T. Effect of enzymatic pretreatment on the diffusion of sodium hydroxide in wood. *Tappi J.*, 1998, v. 81, no. 1, pp. 260–266.
- [11] Klyagina Yu.P., Smirnov V.F., Struchkova I.V., Trofimov A.N., Kislytsyn A.N. *Biodestruktsiya lignina iz drevesno-struzhechnykh plit mikroskopicheskimi gribami* [Biodestruction of lignin from particle board microscopic fungi]. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya* [Chemistry of plant raw materials], 2005, no. 4, pp. 41–44.
- [12] Novozhilov E.V., Poshina D.N. *Biotekhnologii v proizvodstve tsellyulozy dlya khimicheskoy pererabotki (obzor)* [Biotechnologies in the production of cellulose for chemical processing (review)]. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya* [Chemistry of plant raw materials], 2011, no. 3, pp. 15–32.
- [13] Ozolinya N.R., Sergeeva V.N., Abramovich Ts.L. *Anatomicheskie i khimicheskie izmeneniya drevesiny berezy porazhennoy gribami beloy gnili* [Anatomical and chemical changes of birch wood affected by white rot fungi]. *Izvestiya AN Latv. SSR* [Proceedings of the Academy of Sciences of the Latvian SSR]. 1987, No. 12, pp. 45–52.
- [14] Sokolov D.V. *Kornevaya gnil' ot openka (Ar. mellea (vahb.ex Fr) Karst.) v lesakh taezhnoy zony i vozmozhnye meropriyatiya po bor'be s neyu* [Root rot from Armillaria (*Ar. mellea* (vahb.ex Fr) Karst.) in the forests of the taiga zone and possible measures to combat it]. *Sbornik statey po obmenu proizvodstvenno-tekhnicheskim opytom po lesnomu khozyaystvu i lesoustroystvu* [Collection of articles on the exchange of technical and production experience in forestry and forest management]. Leningrad: Lesnaya promyshlennost' [Timber industry], 1963, pp. 228–233.
- [15] Uskov S.P. *Fautnost' spelykh i perestoynykh el'nikov Kadnikovskogo lesnichestva* [Footnote Mature and over-Mature spruce stands of Medford forestry]. *Trudy In-ta lesa i drevesiny* [Works of the Institute of Forest and Timber], 1963, v. 53, pp. 212–237.
- [16] Kirker G.T., Blodgett A.B., Arango R.A., Lebow P.K., Clausen C.A. The role of extractives in naturally durable wood species. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 2013, v. 82, pp. 53–58.
- [17] Singh T., Singh A.P. A review of natural products as wood protectant. *Wood Science Technology*, 2012, v. 46, pp. 851–870.
- [18] Yang D.Q. Potential utilization of plant and fungal extracts for wood protection. *Forest Product J.*, 2009, v. 54, pp. 37–39.
- [19] Zamora-Zamora H.D., Silva T.A.L., Varão L.H.R., Baffi M.A., Pasquini D. Simultaneous production of cellulases, hemicellulases, and reducing sugars by *Pleurotus ostreatus* growth in one-pot solid state fermentation using *Alstroemeria* sp. Waste. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 2021, v. 12, no. 1. DOI:10.1007/s13399-021-01723-3
- [20] Badalyan S.M., Kües U. Morphological characteristics of vegetative mycelia and anamorphs in different collections of xylotrophic basidiomycetous mushrooms. *Bioraznoobrazie i ekologiya gribov i gribopodobnykh organizmov Severnoy Evrazii: materialy Vserossiyskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem* [Biodiversity and ecology of fungi and fungus-like organisms in Northern Eurasia: Proceedings of the All-Russian Conference with International Participation], Yekaterinburg, April 20–24, 2015. Yekaterinburg: Ural University Press, 2015, pp. 300–302.
- [21] Obolenskaya A.V., El'nitskaya Z.P., Leonovich A.A. *Laboratornye raboty po khimii drevesiny i tsellyulozy* [Laboratory work on the chemistry of wood and cellulose: A textbook for universities]. Moscow: Ecology, 1991, 320 p.
- [22] Aliev R.G., Pavlova E.A., Terent'eva E.P., Udovenko N.K. *Stroenie i khimiya drevesiny i ee komponentov* [Structure and chemistry of wood and its components]. St. Petersburg: SPbGTURP, 2011, 37 p.
- [23] GOST 16483.1–84. *Drevesina. Metod opredeleniya plotnosti* [Wood. Density determination method]. Moscow: Publishing House of Standards, 1999, 7 p.
- [24] Rabinovich M.L. *Teoreticheskie osnovy biotekhnologii drevesnykh kompozitov. Kn. 1. Drevesina i razrushayushchie ee griby* [Theoretical foundations of biotechnology of wood composites. Book 1. Wood and its destroying fungi]. Moscow: Nauka, 2001, 264 p.
- [25] Ekabsone M.Ya., Kreytsberg Z.N., Sergeeva V.N., Kirshbaum I.Z. *Issledovanie enzimaticheskii razrushennoy drevesiny* [Investigation of enzymatically destroyed wood]. *Khimiya drevesiny* [Chemistry of wood], 1978, no. 2, pp. 61–64.

## Authors' information

**Zagrebin Egor Aleksandrovich**  — Assistant of the Department of environmental engineering, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Udmurt State University», i.am.yeti@yandex.ru

**Vedernikov Konstantin Evgen'evich** — Cand. Sci. (Biology), Associate Professor of the Department of Environmental Engineering, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Udmurt State University», wke-les@rambler.ru

Received 11.05.2022.

Approved after review 20.09.2022.

Accepted for publication 21.09.2022.

Вклад авторов: все авторы в равной доле участвовали в написании статьи  
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов  
Authors' Contribution: All authors contributed equally to the writing of the article  
The authors declare that there is no conflict of interest