

# ДЕРЕВООБРАБАТЫВАЮЩАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ

## WOODWORKING INDUSTRY

---

УДК 674.048

**И. К. Божелко<sup>1</sup>, А. А. Коновалова<sup>1</sup>, Л. В. Радкевич<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Белорусский государственный технологический университет

<sup>2</sup>Институт тепло- и массообмена имени А. В. Лыкова Национальной академии наук Беларуси

### ОТБЕЛИВАНИЕ ДРЕВЕСИНЫ БЕСХЛОРНЫМ СОСТАВОМ

В статье представлены результаты испытаний бесхлорного состава Bio-Wood 0621 для отбеливания древесины, пораженной деревоокрашивающими и плесневыми грибами. В ходе работы проведен анализ хлорсодержащих составов для отбеливания древесины и составов без хлора. Целью настоящей работы были исследование и анализ состава для отбеливания древесины без хлора Bio-Wood 0621 и подбор температурно-временных условий его применения для достижения высокой степени отбеливания древесины, пораженной деревоокрашивающими и плесневыми грибами, а также оценка его биозащитных свойств. Показано, что оптимальными условиями при использовании состава для отбеливания древесины без хлора на основе перкарбоната натрия является концентрация рабочего отбеливающего раствора не ниже 6 мас. % и проведение процесса отбеливания при температуре не ниже 60°C. Установлено, что состав Bio-Wood 0621 не только обеспечивает отбеливание древесины, но и дает более длительную антисептическую защиту от повторного образования синевы и плесени. Данный состав экологичен, не корродирует пропиточное оборудование, безопасен для работающих с ним, поэтому может успешно использоваться на деревообрабатывающих предприятиях для отбеливания и защиты пиломатериалов.

**Ключевые слова:** экологичное отбеливание древесины, составы без хлора, биостойкость.

**Для цитирования:** Божелко И. К., Коновалова А. А., Радкевич Л. В. Отбеливание древесины бесхлорным составом // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хоз-во, природопользование и перераб. возобновляемых ресурсов. 2024. № 2 (282). С. 180–186.

DOI: 10.52065/2519-402X-2024-282-22.

**I. K. Bazhelka<sup>1</sup>, A. A. Konovalova<sup>1</sup>, L. V. Radkevich<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Belarusian State Technological University

<sup>2</sup>A. V. Luikov Heat and Mass Transfer Institute of National Academy of Science of Belarus

### BLEACHING WOOD WITH CHLORINE-FREE COMPOSITION

The article presents the results of tests of the chlorine-free composition Bio-Wood 0621 for bleaching wood affected by wood staining and mold fungi. During the work, an analysis of chlorine-containing compositions for bleaching wood and compositions without chlorine was carried out. The purpose of this work was to study and analyze the composition for bleaching wood without chlorine Bio-Wood 0621 and select the temperature and time conditions for its use to achieve a high degree of bleaching of wood affected by wood staining and mold fungi, as well as to evaluate its bioprotective properties. It has been shown that the optimal conditions when using a chlorine-free wood bleaching composition based on sodium percarbonate is the concentration of the working bleaching solution not lower than 6 wt. % and carrying out the bleaching process at a temperature not lower than 60°C. It has been established that the Bio-Wood 0621 composition not only provides wood bleaching, but also provides longer-lasting antiseptic protection against the re-formation of blue stains and mold. This composition is environmentally friendly, does not corrode impregnating equipment, is safe for those working with it, therefore can be successfully used in woodworking enterprises for bleaching and protecting lumber.

**Keywords:** eco-friendly wood bleaching, chlorine-free formulations, biostability.

**For citation:** Bazhelka I. K., Konovalova A. A., Radkevich L. V. Bleaching wood with chlorine-free composition. *Proceedings of BSTU, issue 1, Forestry. Nature Management. Processing of Renewable Resources*, 2024, no. 2 (282), pp. 180–186 (In Russian).

DOI: 10.52065/2519-402X-2024-282-22.

**Введение.** В настоящее время все большее число исследований направлено на разработку экологически безопасных энерго- и ресурсосберегающих технологий переработки возобновляемого сырья с целью получения продукции с заданными потребительскими свойствами. Сегодня древесина является одним из самых востребованных материалов, поэтому и эстетические, и физические свойства древесины как конструкционного материала влияют на эксплуатационные качества сооружений и изготовленных из нее конструкций. Однако со временем древесина разрушается под воздействием воды, солнца и перепадов температур [1]. В результате этих процессов происходит деструкция верхних слоев древесины и развивается благоприятная среда для заселения спорами грибов и развития бактерий. Из-за неблагоприятных условий эксплуатации, а также при отсутствии должной обработки древесные материалы подвергаются гниению. Гнилое дерево теряет свою плотность, существенно снижается прочность и эластичность материала, теряются внешние декоративные качества. Особенно это актуально, если речь идет об отделке зданий и сооружений. В результате в жилых помещениях может появиться опасная для здоровья плесень, приводящая к ряду заболеваний, в числе которых различного вида аллергии, бронхит и астма.

Гнилостные процессы на древесных материалах вызывают плесневые грибки и бактерии. Эти микроорганизмы выделяют ферменты, разрушающие целлюлозу, полисахариды и лигнин, из которых состоит древесина. Наиболее благоприятные для роста грибов условия: температура 20–35°C, влажность 30–50%, отсутствие воздухообмена. К наиболее распространенным видам гнили на древесине относятся синевая, мраморная, белая, красная и бурая гниль.

Существует два механизма загнивания, каждый из которых имеет свои признаки. Деструктивное гниение вызывают микроорганизмы, разрушающие непосредственно целлюлозу. В этом случае наблюдается резкое уменьшение толщины клеточных стенок трахеид. Это происходит за счет гидролитического действия микоферментов на полисахариды вторичной стенки вплоть до полного ее разрушения [2]. Деревянные элементы покрываются серыми, черными, синими прожилками и пятнами, а со временем деформируются, трескаются и крошатся. Коррозионное гниение возникает при поражении лигнина – сложного органического соединения, придающего дереву прочность и привлекательный внешний вид. Изменения происходят за счет процессов энзиматической делигнификации клеточных стенок волокон либриформа [2]. При таком виде разрушения на поверхности древесины образуются отверстия, ямки и углубления с белесыми остатками целлюлозы.

Сегодня существует множество средств вернуть древесине естественный цвет, не изменяя ее структуру и сохраняя природные свойства. Процесс отбеливания поверхности древесных материалов заключается в обесцвечивании пигментных связей за счет разрушения хромофорных групп, деструкции смол, характерных красящих веществ в некоторых породах древесины, а кроме того, происходит деструкция клеток деревообрабатывающих и плесневелых грибов и продуктов их жизнедеятельности. Известно, что окраску древесным материалам придают, прежде всего, фенольные и энольные гидроксилы бензольных колец лигнина и лигноподобных веществ, а также экстрактивные вещества и, в первую очередь, полифенолы [3, 4]. Потемнение древесины могут вызывать также окрашенные производные хиноидного типа, полученные в результате окисления лигнина кислородом. К числу распространенных хромофоров относятся также функциональные группы  $=CO$ ,  $-CH=CH-$ , в особенности, если они сопряжены с бензольным ядром. Средства для отбеливания древесины, химические свойства которых основываются прежде всего на их окислительных качествах, делятся на два вида: составы без хлора и хлорсодержащие составы [5]. Использование гипохлорита натрия при отбеливании пораженной древесины, как правило, оправдывается его низкой стоимостью и достаточно высокой эффективностью [6]. Однако в зависимости от сортности древесины и толщины обрабатываемых древесных материалов снижение прочностных характеристик древесных материалов может быть существенным. Кроме того, хлорсодержащие отбеливатели вызывают раздражающее действие на слизистую оболочку глаз, кожу рук и органы дыхания, а при попадании в окружающую среду могут стать источником заражения водных сред. Таким образом, отказ от использования гипохлорита натрия в пользу кислородных отбеливателей позволит повысить качество отбеливания, например при производстве бумаги, значительно сократить количество хлорорганических соединений, поступающих на очистные сооружения, и полностью исключить образование хлороформа, а кроме улучшения охраны окружающей среды, существенно сократить расходы на очистку сточных вод [7].

Наиболее изучены механизмы отбеливания древесных материалов в целлюлозно-бумажном производстве и в текстильной промышленности [8]. Известно, что пероксид водорода обладает более низким окислительным эквивалентом, чем у гипохлорита и диоксида хлора. Однако окислительное действие его избирательно и направлено на остаточный лигнин, точнее на его хромофорные группы, разрушение которых обеспечивает эффективное повышение степени белизны [9].

Непосредственно отбеливающее (окислительное) воздействие на древесные волокна оказывает пероксидный ион  $\text{HO}_2^-$ , возникающий в результате гидролитической диссоциации пероксида водорода:  $\text{H}_2\text{O}_2 \leftrightarrow \text{H}^+ + \text{HO}_2^-$ . Пероксид водорода взаимодействует с органическими соединениями в водном растворе преимущественно по радикально-цепному механизму, о чем свидетельствует ингибирование таких процессов ненасыщенными мономерами и другими акцепторами свободных радикалов (например, акриламидом). Предполагается, что некаталитическое окисление пероксида водорода соединений, моделирующих структуру лигнина, протекает по радикально-цепному механизму с участием как фенольных гидроксильных, так и функциональных групп в боковой цепи [10, 11]. Степень диссоциации пероксида водорода очень мала ( $2,24 \cdot 10^{-12}$  при  $25^\circ\text{C}$ ), но она усиливается при повышении температуры и по мере расходования иона  $\text{HO}_2^-$  на реакции с хромоформными группами лигнина. Диссоциации пероксида способствует также повышение pH, так как при этом сдвигается вправо равновесие реакции. При низких pH пероксид водорода неустоек и легко разлагается на воду и молекулярный кислород и отбеливание материалов практически не происходит. Для стабилизации процесса отбелки пероксидом водорода ведут в щелочной среде (pH = 10–10,5), применяя в качестве щелочного буфера наряду с гидроксидом натрия (NaOH) чаще всего силикат натрия ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) [12]. Скорость разложения пероксида водорода увеличивается в присутствии ионов тяжелых металлов, например, ионов Fe, Mn, Cu, Ni, образующих неустойчивые пероксиды или комплексные соединения гидропероксидных ионов [13]. Для уменьшения каталитического действия ионов тяжелых металлов в качестве пассиваторов добавляют соли магния, фосфаты и полифосфаты щелочных металлов, ЭДТА или Трилон Б. Повышение температуры при отбелке также активизирует разложение пероксида водорода. Надо отметить, что наряду с экологичностью и селективностью процесса мягкое окислительное действие пероксида водорода обеспечивает сохранение механических показателей целлюлозы и оказывает меньшее воздействие на ее углеводную часть [14]. Для снижения деструкции целлюлозы в процессах отбелки целесообразно использовать и другие пероксосоединения, например перкарбонат натрия [11, 15].

Перкарбонат натрия ( $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 1,5\text{H}_2\text{O}_2$ ) – безвредный для человека и природы экологически чистый отбеливатель, представляющий собой неорганическое соединение, кристаллический сольват карбоната натрия и перекиси водорода при растворении в воде распадается на активный кислород, воду и кальцинированную соду. Получают его обычно из сильно разбавленного раствора

пероксида водорода и водного содового раствора или кристаллического карбоната натрия и концентрированного раствора пероксида водорода. В отличие от других отбеливающих средств перкарбонат натрия, представляющий собой твердое вещество, можно хранить достаточно долго при соблюдении некоторых правил безопасности: хранить в герметичных упаковках, исключить попадание ультрафиолета, поддерживать температуру до  $40^\circ\text{C}$ . Кроме того, перкарбонат натрия, как и пероксид водорода, является отличным антисептиком. По данным Центра по контролю и профилактике заболеваний, перекись водорода убивает грибки, бактерии, вирусы и споры плесени [16].

Таким образом, разработка и внедрение экологических и экологически безопасных составов и разработка технологий отбеливания древесных материалов в современных условиях является актуальной задачей для Республики Беларусь и имеет не только научный интерес, но и практическую значимость.

**Основная часть.** Целью настоящей работы является исследование и анализ состава для отбеливания древесины без хлора Bio-Wood 0621 и подбор наиболее оптимальных условий его применения для достижения оптимальной степени отбеливания древесины, пораженной деревоокрашивающими и плесневыми грибами.

Для проведения эксперимента были подготовлены образцы из сухой древесины сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.), которые представлены на рис. 1. Образцы древесины размером 50 мм (длина) × 50 мм (ширина) × 12 мм (толщина) были выпилены из одной доски, равномерно пораженной деревоокрашивающими и плесневыми грибами.

Испытания проводились пятью отбеливающими растворами (для каждого раствора использовалось не менее трех образцов древесины). Отбеливающие растворы № 1–4 представляли собой водные растворы Bio-Wood 0621. В качестве образца сравнения использовали состав для отбеливания древесины на основе гипохлорита (раствор № 5). Отбеливающий раствор № 1 представлял собой Bio-Wood 0621 в готовом виде с концентрацией 6 мас. %, отбеливающие растворы № 2–4 использовали с концентрацией 3 мас. %.

Процесс отбеливания подготовленных образцов древесины проводился погружением их в отбеливающие растворы при различной температуре в течение 60 мин. Перед началом испытаний фиксировали исходную массу подготовленных образцов. Эксперимент проводили при следующих условиях: температура растворов № 1 и 2 составляла  $60^\circ\text{C}$ , раствора № 3 –  $50^\circ\text{C}$ , раствора № 4 –  $40^\circ\text{C}$ , раствора № 5 –  $20^\circ\text{C}$ . В лабораторных условиях закрытые емкости с отбеливающими растворами и погруженными в них образцами

древесины выдерживали при температурах 40, 50 и 60°C в сушильных шкафах заданное время. Затем образцы извлекали из отбеливающих растворов и после промокания поверхности бумажными полотенцами взвешивали для определения поглощения раствора.

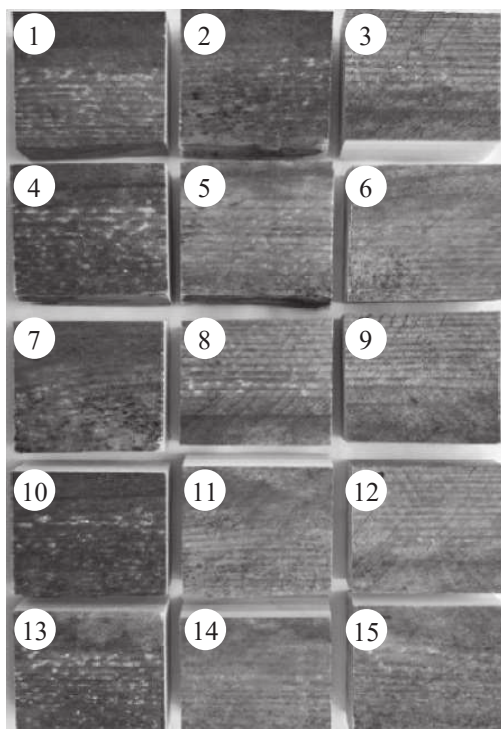


Рис. 1. Образцы древесины, подготовленные для проведения испытаний (раствор № 1 – образцы 1–3; раствор № 2 – образцы 4–6; раствор № 3 – образцы 7–9; раствор № 4 – образцы 10–12; раствор № 5 – образцы 13–15)

Поглощение отбеливающих растворов ( $\Pi$ , кг/м<sup>3</sup>), вычисляли по формуле

$$\Pi = \frac{(m_{\text{после}} - m_{\text{до}}) \cdot 10^{-3}}{a \cdot b \cdot l},$$

где  $m_{\text{после}}$  – масса образца древесины после окунания, г;  $m_{\text{до}}$  – масса образца древесины до окунания, г;  $a$  – ширина образца древесины, м;  $b$  – толщина образца древесины, м;  $l$  – длина образца древесины, м.

Эффективность отбеливания растворов оценивали визуально, сравнивая изменение цвета образцов древесины до и после проведения обработки.

Как видно из рис. 2, наибольшую степень отбеливания, сразу после извлечения образцов из растворов, продемонстрировали отбеливающие растворы № 1 и 2. Кроме того, по сравнению с образцами древесины, обработанными растворами № 3, 4 и 5, эти растворы смогли отбелить

более глубокие слои древесины. Так как отбеливающие растворы имеют свойство продолжать свое воздействие на пораженные участки древесины и после извлечения образцов, то наиболее объективную оценку их отбеливающей способности можно дать только спустя время, когда растворы полностью зафиксируются в древесине, а образцы достигнут равновесной влажности. Надо отметить также, что отбеливающий раствор № 5 на основе гипохлорита натрия не проявил большей эффективности, чем менее концентрированные растворы № 1–4.

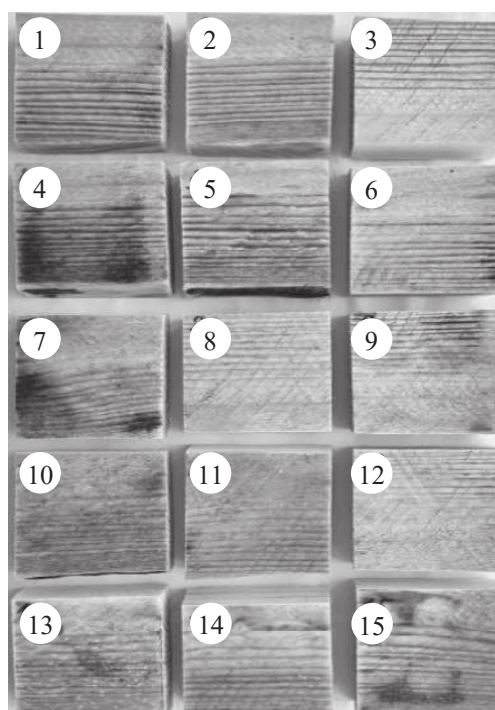


Рис. 2. Образцы древесины сразу после извлечения из пропиточных растворов

#### Результаты проведения обработки деревянных образцов

Номер образца	Масса до окунания, г	Масса после окунания, г	Поглощение раствора, кг/м <sup>3</sup>
1	17,380	28,620	0,37
2	17,700	28,280	0,35
3	17,135	26,950	0,33
4	17,450	25,220	0,26
5	18,115	27,150	0,30
6	17,025	24,680	0,26
7	19,790	24,855	0,17
8	17,715	21,185	0,12
9	16,525	22,445	0,20
10	17,415	22,580	0,17
11	17,715	21,015	0,11
12	16,525	19,910	0,11
13	17,550	30,940	0,45
14	17,070	27,780	0,36
15	18,015	26,265	0,28

Для определения времени, через которое произойдет полное воздействие отбеливающего средства, проводилась визуальная оценка образцов древесины при выдерживании на воздухе при температуре 20°C в течение 4, 8 и 12 ч. Окончательную оценку степени отбеливания проводили спустя 24 ч после извлечения образцов древесины из растворов.

Как видно на фотографиях (рис. 3, 4), сделанных спустя 12 и 24 ч, после достижения образцами древесины равновесной влажности раствор № 1 продемонстрировал наибольшую степень отбеливания. Он смог проникнуть в более глубокие слои древесины и отбелить их.

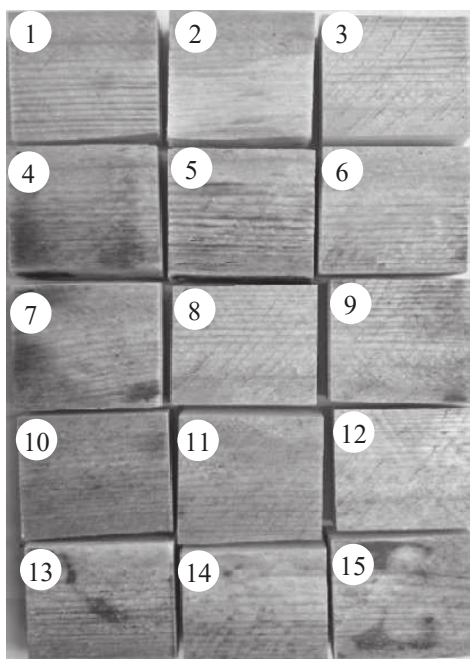


Рис. 3. Образцы древесины спустя 12 ч после извлечения из пропиточных растворов

После оценки степени отбеливания образцы были оставлены при температуре  $25 \pm 1^\circ\text{C}$  и влажности 60–70% на две недели.

Спустя две недели после отбеливания была проведена оценка образцов древесины, ранее пораженных древоокрашивающими и плесневыми грибами. Так как после отбеливания не была произведена обработка защитными составами, образцы 1–3, несмотря на хорошие отбеливающие свойства раствора, которым они были пропитаны, начали постепенно темнеть. На образцах древесины, пропитанных отбеливающими растворами № 2–5 синева проявлялась медленно, начиная из глубинных слоев. Однако стоит отметить, что на этих образцах наблюдается не только проявление синевы, но и образование спор грибов. Тем самым подтверждается необходимость обязательной дополнительной обработки отбеленной древесины биозащитными составами в крат-

чайшие сроки для предотвращения повторного образования синевы и плесени.

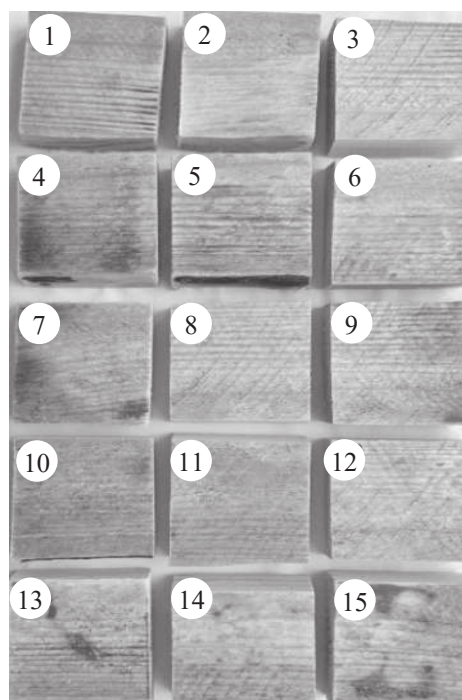


Рис. 4. Образцы древесины спустя 24 ч после извлечения из пропиточных растворов

**Заключение.** В ходе эксперимента была не только проведена оценка отбеливающей способности состава без хлора в сравнении с широко применяемыми составами на основе гипохлорита, но и определены оптимальные условия применения такого отбеливающего раствора: концентрация, температура и время обработки древесины. По результатам проведения исследования наибольшую отбеливающую способность продемонстрировал отбеливающий раствор № 1, который отбеливает не только поверхностную синеву, но и глубокую заболонную гниль.

Таким образом, наиболее оптимальными условиями при использовании состава для отбеливания древесины Bio-Wood 0621, не содержащего хлора, является концентрация рабочего отбеливающего раствора не ниже 6 мас. % и проведение процесса отбеливания при температуре не ниже 60°C. При таких условиях использования отбеливающий состав Bio-Wood 0621 обеспечивает не только отбеливание древесины, но и дает более длительную антисептическую защиту от повторного образования синевы и плесени.

Применение данного состава на деревообрабатывающих предприятиях Республики Беларусь позволит не только эффективно отбеливать изделия из древесины, но и снижать негативное воздействие на организм работников и окружающую среду по сравнению с традиционно используемыми хлорсодержащими отбеливающими составами.

## Список литературы

1. Ozcifci A., Özbay G. Impacts of bleaching chemicals and outdoor exposure on changes in the color of some varnished woods // *BioResources*. 2010. Vol. 5, issue 2. P. 586–597. DOI: 10.15376/biores.5.2. 586-597.
2. Кононов Г. Н., Веревкин А. Н., Сердюкова Ю. В. Физико-химические изменения анатомической структуры микологически разрушенной древесины // *Лесной вестник. Деревообработка и химические технологии*. 2016. № 6. С. 97–102.
3. Никишин В. М., Оболенская А. В., Щеголев В. П. Химия древесины и целлюлозы. М.: Лесная пром-сть, 1978. 367 с.
4. Ботвин М. В., Полянская И. С. Отбеливающие вещества в деревоперерабатывающей промышленности // *Интеграция науки и практики в современных условиях: материалы Междунар. науч.-практ. конф., Минск, 28 окт. 2020 г. Минск, 2020. С. 55–59.*
5. Божелко И. К., Коновалова А. А. Сравнительная оценка способов и средств для отбеливания древесины // *Лесная инженерия, материаловедение и дизайн: материалы 87-й науч.-техн. конф. (с междунар. участием), Минск, 31 янв. – 17 фев. 2023 г. Минск, 2023. С. 164–167.*
6. Божелко И. К., Коновалова А. А., Радкевич Л. В. Оценка составов для отбеливания древесины, пораженной деревоокрашивающими и плесневыми грибами // *Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хоз-во, природопользование и перераб. возобновляемых ресурсов*. 2023. № 2 (270). С. 217–223.
7. Кряжев А. М., Голуб О. В., Санжаровский А. Ю. Энциклопедия технологий 2.0: Производство неметаллов. М.; СПб.: Центр экол. пром. политики, 2022. 145 с.
8. Милорадова Л. А., Комарова Г. В., Королева Т. А. Отбелка целлюлозы. Архангельск: АГТУ, 2005. 130 с.
9. Хакимова Ф. Х., Синяев К. А., Андраковский Р. Э. Разработка технологии получения древесной целлюлозы для химической переработки // *Химия растительного сырья*. 2020. № 2. С. 333–343.
10. Кисленко В. Н., Берлин А. А. Кинетика и механизм окисления химических веществ пероксидом водорода // *Успехи химии*. 1991. Т. 60, вып. 5. С. 949–981.
11. Демин В. А. Активация и окисление лигнина в процессах отбеливания сульфатной целлюлозы. 1. Механизм активации и окисления пероксидом водорода // *Химия древесины*. 1994. № 3. С. 29–37.
12. Пестова Н. Ф. Производство древесной массы. Сыктывкар: СЛИ, 2013. 101 с.
13. Попова Н. Р., Боголицын К. Г., Поварницына Т. В. Каталитическое окисление лигнинных веществ с использованием в качестве катализаторов полиоксометаллатов // *Химия растительного сырья*. 2008. № 4. С. 5–14.
14. Пероксидная делигнификация целлюлозы / Ф. Х. Хакимова [и др.] // *Вестник ПНИПУ. Химическая технология и биотехнология*. 2016. № 4. С. 70–79.
15. McKillop A., Sanderson W. R. Sodium perborate and sodium percarbonate: cheap, safe and versatile oxidising agents for organic synthesis // *Tetrahedron*. 1995. Vol. 51, issue 22. P. 6145–6166. DOI: 10.1016/0040-4020(95)00304-q.
16. Иванова А. С., Козак С. С. Применение препаратов на основе перекиси водорода при санитарной обработке оборудования и поверхностей в убойном цехе // *Всё о мясе*. 2011. № 3. С. 33–36.

## References

1. Ozcifci A., Özbay G. Impacts of bleaching chemicals and outdoor exposure on changes in the color of some varnished woods. *BioResources*, 2010, vol. 5, issue 2, pp. 586–597. DOI: 10.15376/biores.5.2. 586-597.
2. Kononov G. N., Verevkin A. N., Serdyukova Yu. V. Physico-chemical changes in the anatomical structure of mycologically destroyed wood. *Lesnoy vestnik. Derevoobrabotka i khimicheskiye tekhnologii* [Forest Bulletin. Woodworking and Chemical Technologies], 2016, no. 6, pp. 97–102 (In Russian).
3. Nikishin V. M., Obolenskaya A. V., Shchegolev V. P. *khimiya drevesiny i tsellyulozy* [Chemistry of wood and cellulose]. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1978. 367 p. (In Russian).
4. Botvin M. V., Polyanskaya I. S. Bleaching agents in the wood processing industry. *Integratsiya nauki i praktiki v sovremennykh usloviyakh: materialy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Integration of science and practice in modern conditions: materials of the International scientific and practical conference]. Minsk, 2020, pp. 55–59 (In Russian).
5. Bazhelka I. K., Kanavalava A. A. Comparative assessment of methods and means for bleaching wood. *Lesnaya inzheneriya, materialovedeniye i dizayn: materialy 87-y nauchno-tekhnicheskoy konferentsii (s mezhdunarodnym uchastiyem)* [Forestry engineering, materials science and design: proceedings of the 87th scientific and technical conference (with international participation)]. Minsk, 2023, pp. 164–167 (In Russian).
6. Bazhelka I. K., Kanavalava A. A., Radkevich L. V. Evaluation of compositions for bleaching wood affected by wood staining and mold fungi. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], issue 1, Forestry. Nature management. Processing of Renewable Resources, 2023, pp. 217–223 (In Russian).

7. Kryazhev A. M., Golub O. V., Sanzharovskiy A. Yu. *Entsiklopediya tekhnologiy 2.0: Proizvodstvo nemetallov* [Encyclopedia of Technology 2.0: Production of non-metals]. Moscow, Saint Petersburg, Centr ekologicheskoy promyshlennoy politiki Publ., 2022. 145 p. (In Russian).

8. Miloradova L. A., Komarova G. V., Koroleva T. A. *Otbelka tsellyulozy* [Pulp Bleaching]. Arkhangel'sk, AGTU Publ., 2005. 130 p. (In Russian).

9. Hakimova F. H., Sinyaev K. A., Andrakovskiy R. E. Development of technology for producing wood pulp for chemical processing. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya* [Chemistry of plant materials], 2020, no. 2, pp. 333–343 (In Russian).

10. Kislenko V. N., Berlin A. A. Kinetics and mechanism of oxidation of organic compounds with hydrogen peroxide. *Uspekhi himii* [Advances in chemistry], 1991, vol. 60, no. 5, pp. 949–981 (In Russian).

11. Demin V. A. Activation and oxidation of lignin in sulphate pulp bleaching processes. 1. The mechanism of activation and oxidation with hydrogen peroxide. *Khimiya drevesiny* [Wood chemistry], 1994, no. 3, pp. 29–37 (In Russian).

12. Pestova N. F. *Proizvodstvo drevesnoy massy* [Wood pulp production]. Syktyvkar, SLI Publ., 2013. 101 p. (In Russian).

13. Popova N. R., Bogolitsyn K. G., Povarnitsyna T. V. Catalytic oxidation of lignin substances using polyoxometalates as catalysts. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya* [Chemistry of plant materials], 2008, no. 4, pp. 5–14 (In Russian).

14. Hakimova F. H., Sinyaev K. A., Zhulanova A. E., Hakimov R. R. Peroxide delignification. *Vestnik PNIPIU. Khimicheskaya tekhnologiya i biotekhnologiya* [Bulletin of PNIPIU. Chemical technology and biotechnology], 2016, no. 4, pp. 70–79 (In Russian).

15. McKillop A., Sanderson W. R. Sodium perborate and sodium percarbonate: cheap, safe and versatile oxidising agents for organic synthesis. *Tetrahedron*, 1995, vol. 51, issue 22, pp. 6145–6166. DOI: 10.1016/0040-4020(95)00304-q.

16. Ivanova A. S., Kozak S. S. The use of hydrogen peroxide-based preparations for sanitary treatment of equipment and surfaces in the slaughterhouse. *Vsyo o myase* [All about meat], 2011, no. 3, pp. 33–36 (In Russian).

### Информация об авторах

**Божелко Игорь Константинович** – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой технологии деревообрабатывающих производств. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: bikbstu@mail.ru

**Коновалова Анастасия Александровна** – аспирант кафедры технологии деревообрабатывающих производств. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: anastasiyakonov@gmail.com

**Радкевич Людмила Вячеславовна** – научный сотрудник лаборатории реофизики и макрокинетики. Институт тепло- и массообмена имени А. В. Лыкова Национальной академии наук Беларуси (220072, г. Минск, ул. П. Бровки, 15, Республика Беларусь). E-mail: l.radkevich.69@gmail.com

### Information about the authors

**Bazhelka Ihar** – PhD (Engineering), Associate Professor, Head of the Department of Woodworking Technology. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: bikbstu@mail.ru

**Kanavalava Anastasiya** – PhD student, the Department of Woodworking Technology. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: anastasiyakonov@gmail.com

**Radkevich Luidmila** – Researcher, the Rheophysics and Macrokinetics Laboratory. A. V. Luikov Institute of Heat and Mass Transfer of the National Academy of Sciences of Belarus (15, Brovki str., 220072, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: l.radkevich.69@gmail.com

Поступила 15.03.2024