

УДК 038.742.046.73

О. К. Леонович, С. А. Дупанов
Белорусский государственный технологический университет
**ИССЛЕДОВАНИЯ МОРЕНОГО ДУБА И ЕГО СВОЙСТВ
ПРИ ДОБЫЧЕ И ПЕРЕРАБОТКЕ**

Мореный дуб – ценный невозполнимый природный ресурс. Мореный дуб по своей структуре, химическим, физико-механическим и видовым свойствам значительно отличается от древесины обычного дуба. В процессе тысячелетнего нахождения во влажной среде без доступа кислорода он преобразуется, проявляя изумительные видовые свойства и текстурные особенности поверхности при распиловке его на пиломатериалы. В зависимости от места залегания мореного дуба и продолжительности цикла нахождения в новой среде, содержащиеся в нем дубильные вещества реагируют с солями железа, придают экзотический вариативный окрас. Мягкая тональность цвета годичных слоев, особенно на тангенциальном срезе, создает изумительную картину, что в значительной степени способствует созданию эксклюзивных изделий из древесины мореного дуба.

В данной публикации проанализированы результаты исследований мореной древесины учеными различных стран мира и Республики Беларусь за последнее 100-летие, рассмотрены ведущие работы по добыче мореного дуба на предприятии ГОДО «Транс-Центр» в пойме реки Сож. Показаны результаты исследований, проведенные в Белорусском государственном технологическом университете по разработке методологии добычи, сушки и хранения мореной древесины, определению свойств мореного дуба. Рассмотрены методические материалы по добыче, сушке и хранению круглых сортиментов мореного дуба, установлена его возрастная и видовая дифференциация, а также методы защиты мореного дуба от биоповреждения.

Ключевые слова: мореный дуб, деградация, физико-химические свойства, прочность, сушка, консервирование.

Для цитирования: Леонович О. К., Дупанов С. А. Исследования мореного дуба и его свойств при добыче и переработке // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хоз-во, природопользование и перераб. возобновляемых ресурсов. 2024. № 2 (282). С. 157–166.

DOI: 10.52065/2519-402X-2024-282-19.

O. K. Leonovich, S. A. Dupanov
Belarusian State Technological University
**RESEARCH OF BOG OAK AND ITS PROPERTIES DURING MINING
AND PROCESSING**

Bog oak is a valuable irreplaceable natural resource. Bog oak in its structure, chemical, physical-mechanical and species properties differs significantly from ordinary oak wood. In the process of being in a humid environment for thousands of years without access to oxygen, it is transformed into, exhibiting amazing species properties and texture features of the surface when sawing it into lumber. Depending on the location of the bog oak and the duration of the cycle of being in a new environment, the tannins contained in it react with iron salts and give an exotic, variable color. The soft tonality of the color of the annual layers, especially on the tangential cut, creates an amazing picture, which greatly contributes to the creation of exclusive products from bog oak wood.

This publication analyzes the results of research on bog wood by scientists from around the world and the Republic of Belarus over the last 100 years, and examines the leading work on the extraction of bog oak at the Trans-Center enterprise in the floodplain of the Sozh river. The results of research conducted at the Belarusian State Technological University on the development of a methodology for the extraction, drying and storage of bog wood, and the determination of the properties of bog oak are shown. Methodological materials on the extraction, drying and storage of round assortments of bog oak are considered, the age and species differentiation of bog oak is determined, as well as methods for protecting bog oak from bio-damage.

Keywords: bog oak, degradation, physical and chemical properties, strength, drying, canning.

For citation: Leonovich O. K., Dupanov S. A. Research on bog oak and its properties during mining and processing. *Proceedings of BSTU, issue 1, Forestry. Nature Management. Processing of Renewable Resources*, 2024, no. 2 (282), pp. 157–166 (In Russian).

DOI: 10.52065/2519-402X-2024-282-19.

Введение. Мореная древесина, ценный природный ресурс. На территории Республики Беларусь ориентировочный объем придонного залегающего составляет 25 000 м³. В настоящее время отработывается технология промышленной добычи данного природного ресурса на базе предприятия ГОДО «Транс-Центр». С учетом опыта данного предприятия и возможности добычи древесины с различными реологическими свойствами, в зависимости от возраста мореного дуба, можно сделать качественную оценку данного материала. Эти данные также актуальны для сохранения и консервации археологической древесины. Исследования в области свойств мореной и археологической древесины тесно связаны и не имеют достаточной теоретической базы для проведения консервационно-восстановительных работ, а также придания древесине качественных и потребительских характеристик. Этот процесс требует индивидуального подхода в связи с изменениями реологических свойств мореной и археологической древесины в зависимости от возраста и места залегания. В рамках изучения вопроса сохранения мореного дуба от деформаций при предварительной сушке и последующей биозащите от повреждения дереворазрушающими грибами в процессе переработки и хранения выявлены следующие закономерности:

1) цвет мореной древесины изменяется в зависимости от содержания оксида железа в среде залегания;

2) минеральный состав древесины зависит от времени залегания в безвоздушно-водной среде;

3) на физико-механические характеристики мореной, а также археологической древесины непосредственно влияет способ сушки [1–3].

Эти зависимости еще нуждаются в качественном анализе с целью создания классификации и разработки инструментария пооперационных работ после извлечения мореной древесины из ее среды обитания, а также для сохранения формы при удалении влаги и последующей биозащите от разрушения.

Научно-исследовательские работы по мореной древесине, которые существуют на сегодняшний день, можно использовать лишь частично, поскольку имеется большой диапазон свойств древесины, зависящих от нескольких переменных величин. Так, в предыдущих работах не учитывалась продолжительность сушки древесины мореного дуба, которая влияет на изменение предела насыщения клеточных стенок, не исследовалось состояние мореной древесины, добытой из водной среды или иловых отложений, не рассматривались характеристики пиломатериалов и их качество по возрастным и видовым показателям.

Основной задачей для проведения качественных научно-исследовательских работ является

получение образцов в необходимом количестве с нужными качественно-технологическими параметрами. Данное требование самое важное, так как работы, проведенные над одним или несколькими образцами с одного ствола мореного дерева, являются не объективными и узконаправленными, а подходят конкретно для данного ствола заданного возраста, места залегания и способа сушки. Эти переменные данные возможно исследовать только при достаточном количестве необходимых образцов, для того чтобы была наглядная зависимость в изменении реологических свойств мореной или аналогичного возрастного периода археологической древесины.

Основная часть. Основные свойства натуральной древесины по прочности и химическим свойствам исследовались учеными Уголевым Б. Н., Расевым А. И., Фенгелом Д., Венегером Г. [4, 5]. Исследования свойств мореного дуба велись отдельными учеными в узком диапазоне и касались в основном характеристик пиломатериалов из этой древесины [6].

Многочисленные работы посвящены исследованию проблем, связанных с переувлажнением мореной древесины, когда в первую очередь происходит потеря полисахаридного компонента. Разложение целлюлозы в переувлажненной древесине приводит к снижению относительной кристалличности, хотя ширина кристаллов, по-видимому, не изменяется [7]. Было обнаружено, что ксилан в дубовой древесине корабля «Ваза» деполимеризовался с образованием водорастворимых фрагментов [8, 9]. Сообщалось о потере карбоксильных групп, связанных с остатками глюконовой кислоты в гемицеллюлозах, а также о некоторой потере сложноэфирных связей в лигнин-углеводном комплексе (ЛУК) [7]. Дегградация лигнина протекает гораздо менее интенсивно по сравнению с углеводными компонентами, но включает некоторую потерю β -O-4 связей и дегградацию сиригильных фрагментов [7], а также незначительное окисление, которое, вероятно, происходит после раскопок или до потребления кислорода после захоронения или погружения в воду [9–11], но может указывать на кислородную фазу в истории образца [12]. Значительное увеличение фона флуоресценции в спектре комбинационного рассеяния света было связано с большей подвижностью структуры лигнина из-за разрушения связей ЛУК, а также с более высокой относительной долей лигнина в древесине [7]. Лигнин, извлеченный из переувлажненной древесины, характеризовали методом масс-спектрометрии прямого воздействия и сравнивали с лигнином, извлеченным из свежей древесины или [13]. Сделан вывод, что данный метод является перспективным для изучения дегградации лигнина в археологической древесине. Древесина

натурального мореного дуба, поднятая с водной среды или илистых отложений в поймах рек, имеет начальную влажность от 200 до 300% и выше. На поверхности такой древесины имеется ослабленный, а в отдельных случаях и деградированный слой различной толщины. Крайне высокая влажность внутри образца и высокая скорость высыхания ослабленной древесины на поверхности и способствуют появлению растягивающих напряжений, вызывающих мгновенное образование трещин поперечного и продольного направлений. Для исследования скорости продвижения влаги в натуральной мореной древесине производился отбор необходимого количества образцов непосредственно во время подъема из водной среды и в последующие периоды сушки. Возникающие деформации и трещины определялись визуально.

Интерес представляют исследования по изменению физических параметров при деградации мореной древесины. Увеличение пористости разложившейся древесины вследствие микробиологического разрушения приводит к более высокому максимальному содержанию воды (МСВ) и снижению остаточной базовой плотности (ОБП) по сравнению со свежей древесиной той же породы. МСВ (также называемое влажностью или максимальным содержанием влаги) – это отношение массы сухой древесины к общему весу влажной древесины, выраженное в процентах. ОБП – это отношение плотности археологического образца древесины по сравнению с типичным значением для образца свежей древесины той же породы, также выраженное в процентах. Переувлажненная древесина считается деградированной, когда МСВ превышает 150% (в зависимости от породы), и сильно деградированной, когда МСВ превышает 400%, а ОБП составляет менее 40% [14]. Были некоторые споры относительно наилучшего метода определения МСВ, например, А. Zisi и J. K. Dix отмечают, что некоторые работники выступали за вакуумную обработку древесины давлением, чтобы гарантировать удаление всех пузырьков воздуха, но это сопряжено с риском повреждения древесины. Предварительные исследования показали, что в вакуумной обработке нет необходимости, однако переувлажненная древесина должна храниться полностью в воде и погружаться в водонепроницаемые контейнеры перед любыми консервационными мероприятиями, измерения МСВ должны проводиться в течение нескольких дней после отбора проб [15]. Изменения плотности древесины в какой-то мере определяют степень ее разрушения при сушке из переувлажненного состояния, а зная степень разрушения древесины, несложно выбрать наиболее подходящий метод консервации. Вес затопленной древесины обычно легко определяется,

но измерение объема не является простым, если только объекты не имеют правильной геометрической формы. В других случаях прибегают к пикнометрическим методам или методам выталкивания [16]. Несмотря на то, что Р. Jensen, D. J. Gregory использовали в качестве показателя степень разложения древесины, было обнаружено отсутствие корреляции между МСВ и содержанием холоцеллюлозы, несмотря на наличие более четкой взаимосвязи между соотношением холоцеллюлоза / лигнин, хотя и со значительным разбросом [17]. Вода в переувлажненной древесине находится в различных средах: в макропорах древесины или в клеточных стенках, и для учета этого может потребоваться коррекция плотности. Часто можно обнаружить, что деревянные изделия демонстрируют градиенты деградации между поверхностью и внутренней частью, верхней и нижней областями или между сердцевинной и заболонью. Следовательно, средние значения не настолько информативны, чтобы использовать их при определении степени разложения всего образца и соответствующего метода консервации.

Для сохранения археологических находок предлагаются различные способы и методы защиты от капиллярной пропитки до пропитки под давлением, консервирования, химической защиты, модификации и др. Характер защиты переувлажненной мореной древесины значительно различается в зависимости от породы, аномалий роста, степени разложения, проницаемости или истории использования. Следовательно, невозможно применить одну универсальную обработку ко всем деревянным предметам. На сегодняшний день для уплотнения и стабилизации древесины используются различные методы и химикаты, а также множество видов обработки (например, напыление, пропитка, полимеризация) и различные методы сушки (медленная сушка на воздухе, сублимационная сушка, сушка полярным растворителем) [18].

Назначение уплотняющего средства – предотвратить разрушение обработанной древесины во время консервации и сушки и обеспечить достаточную структурную целостность древесины, чтобы она могла выдерживать манипуляции и демонстрацию. В ранних попытках сохранить переувлажненную древесину использовались растворители, масла или воски, но они не смогли обеспечить достаточную поддержку разрушенным деревянным предметам [19]. Исторические химические методы включают обработку квасцами [20] и более поздние обработки полиэтиленгликолями (ПЭГ) и сахарами [21]. С середины 1800-х до 1950-х гг. многие заболоченные находки (особенно в Скандинавии) обрабатывались алюмокалиевыми квасцами ($KAl(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$).

Это подтверждают артефакты Осебергского погребения, датированного 834 г. н. э., раскопанные в 1904 г. [22]. Со временем обнаружилось серьезные проблемы с сохранением из-за присутствия серной кислоты, которая сильно разрушала древесину. К большому счастью, древесина корабля «Ваза» не подвергалась такой обработке. Обработка квасцами включала замачивание деревянных изделий в концентрированных растворах квасцов при температуре 90°C на срок до 36 ч [23]. В результате у крупных деревянных предметов появилось 2 зоны: твердая внешняя, богатая квасцами, и более мягкая внутренняя, содержащая небольшое количество квасцов. Древесина артефактов на данный момент имеет высокую кислотность (рН 1–2,5), и в ней отсутствует углеводный компонент, а лигнин сильно окислен. Помимо квасцов присутствуют и другие неорганические компоненты, среди которых железо, по предположениям оказывающее каталитическое действие на процесс разложения [24] (но в этом еще нет уверенности). Например, во время реконструкции найденных в Осеберге предметов было обнаружено, что для укрепления салазок использовался железный прут, а на других предметах сохранились остатки оригинальных железных гвоздей. Другие неорганические компоненты включают цинк и ртуть, образующиеся при обработке деревянных предметов в цинковых контейнерах, содержащих в качестве биоцида раствор хлорида ртути. Многие предметы, обработанные квасцами, впоследствии были пропитаны льняным маслом путем погружения либо чистки щеткой до полного насыщения. Затем реконструированные предметы были покрыты матовым лаком, чтобы убрать блеск, вызванный обработкой льняным маслом. В 1950-х гг. активно использовалось покрытие на основе эпоксидной смолы. Область, пропитанная льняным маслом, обеспечивает единственную оставшуюся структурную целостность для многих находок и, по-видимому, ограничивает диффузию сульфата в обработанные участки [25]. Хотя глицерин не использовался для обработки осебергских находок, после 1910 г. его часто добавляли в раствор квасцов, а это означает, что обработанные таким образом предметы теперь чрезвычайно чувствительны к относительной влажности окружающей среды. Зоны, обработанные квасцами на объектах Осеберга, показывают значения рН от 1 до 4,5, при этом источником кислотности являются квасцы. Если в процессе пропитки нагреть раствор квасцов до 90°C, то рН раствора снизится с 3,5 до 2 из-за выпадения в осадок alunита ($KAl_3(SO_4)_2(OH)_6$), что происходит только в нагретых растворах. В результате этой реакции образуются избыточные сульфат-ионы, которые проникают в структуру древесины [22]. Использование квасцов являлось

стандартным методом обработки археологической древесины в Датском национальном музее в Копенгагене в течение столетия [26]. Лодка Hjortspring обработана смесью квасцов и глицерина в 1920-х г., но гигроскопические свойства этой смеси вызвали проблемы с устойчивостью, и между 1966 и 1979 г. она была повторно покрыта раствором ПЭГ. Квасцы также использовались для обработки римского корабля из ратуши графства, который найден в Лондоне в 1910 г., но сейчас от этого артефакта сохранилось очень мало.

В настоящее время ПЭГ является наиболее распространенным консервантом. ПЭГ – это линейные полиэфиры с концевыми гидроксильными группами, свободно растворимые в воде или спиртах и в зависимости от концентрации используемые в широком диапазоне молекулярных масс от 300–600 (жидкости комнатной температуры) через 1000–1500 (полужидкости) до 3250–6000 (воскоподобные вещества) [27–31].

Особое значение авторы уделяли определению возрастных и качественных характеристик мореной древесины, а также классификационному подходу к определению качества древесины и методов сохранения от добычи древесины до ее переработки в изделия. В своих работах на скорость продвижения жидкости к поверхности авторы считают необходимым обращать внимание на химический состав добытой древесины и его влияние на скорость продвижения жидкости к поверхности [32, 33]. Также ими определено пропорциональное увеличение содержания химических элементов в мореной древесине в зависимости от места и периода залегания.

Предложено использовать спектральный анализ для определения возраста находок [34, 35]. Проблемы, возникающие в процессе сушки мореной древесины, обсуждались в работах авторов Дупанова С. А. и Леоновича О. К., однако методического решения найдено не было. Известна пропитка сырых пиломатериалов в гидрофильных жидкостях, которая меняет цвет древесины и снижает физико-механические свойства. Установлено, что при защите археологической древесины фенольными смолами с этиленгликолем, проводимой в музее «Берестье», она меняет цвет, структуру и выделяет вредные вещества в атмосферу [36, 37]. Модификация не рекомендуется для защиты натурального мореного дуба.

В. Курдюмов предлагал для снижения влажности круглых лесоматериалов от 30–70, до 10–20% использовать паровакуумную сушку [38].

Направления защиты археологической древесины натурального мореного дуба различных периодов роста впервые были рассмотрены в работах [39–44], авторы которых предлагают метод консервации мореной древесины, рассматривают классификационный подход к оценке

качественных характеристик натурального мореного дуба. Подтверждение результатов исследований, касающихся определения возраста мореной древесины, проводили по радиоуглеродному анализу [45]. Учитывая сложности отбора образцов, особенно у археологической древесины, предложено исследования реологических свойств мореной и археологической древесины дуба вести по методике ЦНИИСК им В. А. Кучеренко на малых образцах – 10×10×150 мм [46]. В последних работах авторов [47–49] рассмотрены проблемы сохранения археологических объектов из натурального мореного дуба и сосны, описан методологический подход к бездеформативной сушке и защите мореной древесины и археологических находок из нее.

В результате проведенных исследований авторы добились следующих результатов: на основании анализа научных и практических результатов исследований в мировой практике и своих научно-исследовательских работ установлена закономерность изменения процентного содержания химических элементов в структуре мореного дуба в зависимости от возраста. Особенно заметно изменение процентного содержания железа. Так, в возрасте 1000 лет его содержание 0,58%, в 1500 лет – 2,07%, в 2000 лет – 5,04%, в 3000 лет – 11,46%, в 4000 лет – 16,28%. Предложено использовать анализ спектроскопии как альтернативу радиоуглеродному анализу. Рассмотрен классификационный подход к анализу мореной древесины, многоступенчатая бездеформативная сушка от стадии заготовки до готового изделия, методология двухступенчатой консервации и гидрофобизации мореной древесины и археологических находок из нее.

Мореный дуб является ценным и невосполнимым природным ресурсом, который за период залегания в безвоздушно-водной среде проходит ряд деформационных изменений, а также подвержен обогащению минеральными соединениями, которые содержатся в месте залегания. Химический состав мореной древесины аналогичен химическому составу места залегания. Химические вещества из окружающей среды места залегания мореной древесины под действием диффузионных сил проникают в нее и увеличивают свое содержание в процессе хранения. Максимальный

процент замещения органических соединений обнаружен в мореной древесине возрастом 6650 лет и составляет 30%.

Археологические находки из древесины мореного дуба отличаются более высокой степенью деградации структурных древесных соединений, так как они зачастую проходили несколько стадий сушки – вымачивания за цикл эксплуатации данных находок. Неравномерность увлажненности и наличие дефектов эксплуатации приводят к усложнению процессов сушки и консервации.

Натуральный мореный дуб и находки из него являются ценным природным ресурсом Республики Беларусь и требуют особого внимания для увеличения делового выхода мореной древесины и сохранению культурно-исторического наследия нашей страны.

Заключение. Приведенные данные могут быть использованы при разработке методики сушки и защиты, консервации археологических объектов такого же возрастного периода залегания. Выявленные зависимости в рамках выполнения диссертации «Исследование реологических свойств натурального мореного дуба и технологии его эффективного использования» могут быть использованы в нескольких направлениях, а именно:

- 1) для создания классификации древесины мореного дуба, оценки степени деградации и утраты потребительских свойств;
- 2) для расчета и нормирования выхода деловой древесины натурального мореного дуба;
- 3) для оценки возраста мореной древесины в зависимости от ее цвета и минерального состава места залегания по методу, предложенному в статье [44] (это может быть альтернативой использованию радиоуглеродного анализа [45]), а также для определения возраста археологических находок из древесины дуба;
- 4) для разработки методологии сохранения и консервации мореной и археологической древесины и способов глубокой пропитки антисептическими средствами древесины мореного дуба различных периодов залегания и состояния реологических свойств древесины;
- 5) для получения качественных пиломатериалов и изделий, при использовании методики бездеформативной сушки массивной мореной древесины.

Список литературы

1. Леонович О. К., Дупанов С. А. Определение качества натурального мореного дуба в зависимости от различных физических, возрастных и видовых характеристик // Лес – 2023: тез. докл. XXII междунар. науч.-техн. интернет-конф. 1–30 мая 2023 г. Брянск, 2023. URL: http://science-bsea.bgita.ru/2023/les_2023/leonovich_komp.htm (дата обращения: 28.05.2023).
2. Дупанов С. А., Леонович О. К. Реологические свойства мореного дуба по поперечному срезу ствола // Лесная инженерия, материаловедение и дизайн: тез. докл. 88-й науч.-техн. конф. с междунар. участием, Минск, 1–13 февр. 2023 г. Минск, 2023. С. 236.

3. Дупанов С. А., Леонович О. К. Методология бездеформативной сушки и консервации археологической древесины // Лесная инженерия, материаловедение и дизайн: тез. докл. 88-й науч.-техн. конф. с междунар. участием, Минск, 1–13 февр. 2023 г. Минск, 2023. С. 244–246.
4. Фенгел Д., Венегер Г. Древесина (химия, ультраструктура, реакция). М.: Лесная пром-сть, 1988. 512 с.
5. Ванин С. И. О физико-механических свойствах древесины мореного дуба. Л., 1940. Вып. 5–6. С. 63–79.
6. Уголев Б. Н. Древесиноведение и лесное товароведение. М.: МГУЛ, 2007. 351 с.
7. Even visually intact cell walls in waterlogged archaeological wood are chemically degraded and mechanically brittle: a 170-year-old case. Old shipwreck / L. Khan [et al.] // *Molecules*. 2020. Vol. 25. P. 1113.
8. Almkvist G., Persson I. Degradation of Polyethylene Glycol and Hemicellulose in the Vasa // *Holzforschung*. 2008. No. 62. P. 64–70.
9. Lignin Distribution in Waterlogged Archaeological *Picea Abies* (L.) Karst Degraded by Erosion Bacteria / N. B. Pedersen [et al.] // *Holzforschung*. 2014. No. 68. P. 791–798.
10. Pedersen N. B., Gierlinger N., Thygesen L. G. Bacterial and Abiotic Decay in Waterlogged Archaeological *Picea Abies* (L.) Karst. Studied by Confocal Raman Imaging and ATR-FTIR Spectroscopy // *Holzforschung*. 2015. No. 69. P. 103–112.
11. Characterization of Waterlogged Wood by NMR and GPC Techniques / A. Salanti [et al.] // *Microchem. J.* 2010. No. 95. P. 345–352.
12. Deterioration of the Hanson Logboat: Chemical and Imaging Assessment with Removal of Polyethylene Glycol Conserving Agent / A. P. Pinder [et al.] // *Sci. Rep.* 2017. No. 7. P. 13697.
13. Analysis of Lignin from Archaeological Waterlogged Wood by Direct Exposure Mass Spectrometry (DE-MS) and PCA Evaluation of Mass Spectral Data / F. Modugno [et al.] // *Microchem. J.* 2008. No. 88. P. 186–193.
14. Chemical Characterisation of Wood of Roman Ships Brought to Light in the Recently Discovered Ancient Harbour of Pisa (Tuscany, Italy) / F. Bettazzi [et al.] // *Holzforschung*. 2003. No. 57. P. 373–376.
15. Zisi A., Dix J. K. Simulating Mass Loss of Decaying Waterlogged Wood: A Technique for Studying Ultrasound Propagation Velocity in Waterlogged Archaeological Wood // *J. Cult. Herit.* 2018. No. 33. P. 39–47.
16. Macchioni N., Pecoraro E., Pizzo B. The Measurement of Maximum Water Content (MWC) on Waterlogged Archaeological Wood: A Comparison between Three Different Methodologies // *J. Cult. Herit.* 2018. No. 30. P. 51–56.
17. Jensen P., Gregory D. J. Selected Physical Parameters to Characterize the State of Preservation of Waterlogged Archaeological Wood: A Practical Guide for Their Determination // *J. Archaeol. Sci.* 2006. No. 33. P. 551–559.
18. Florian M.-L. E. Scope and History of Archaeological Wood // *Archaeological Wood: Advances in Chemistry*. Washington, DC, USA, 1989. Vol. 225. P. 3–32.
19. Navigating Conservation Strategies: Linking Material Research on Alum-Treated Wood from the Oseberg Collection to Conservation Decisions / S. Braovac [et al.] // *Herit. Sci.* 2018. No. 6. P. 77.
20. Braovac S., Kutzke H. The Presence of Sulfuric Acid in Alum-Conserved Wood-Origin and Consequences // *J. Cult. Herit.* 2012. No. 13. P. 203–208.
21. Morgós A., Imazu S., Ito K. Sugar Conservation of Waterlogged Archaeological Finds in the Last 30 Years // *Proceedings of the Conservation and Digitalization Conference*. Gdańsk, Poland, 19–22 May 2015. Gdansk, 2015. P. 15–20.
22. Chemical Characterisation of the Whole Plant Cell Wall of Archaeological Wood / L. Zoia [et al.] // *An Integrated Approach*. *Anal. Bioanal. Chem.* 2017. No. 409. P. 4233–4245.
23. New Insights into the Degradation Processes and Influence of the Conservation Treatment in Alum-Treated Wood from the Oseberg Collection / C. M. A. McQueen [et al.] // *Microchem. J.* 2017. No. 132. P. 119–129.
24. McQueen C. M. A., Tamburini D., Braovac S. Identification of Inorganic Compounds in Composite Alum-Treated Wooden Artefacts from the Oseberg Collection // *Sci. Rep.* 2018. No. 8. P. 2901.
25. Protective Effect of Linseed Oil Varnish on Archaeological Wood Treated with Alum / J. J. Łucejko [et al.] // *Microchem. J.* 2018. No. 139. P. 50–61.
26. Waterlogged Archaeological Wood-Chemical Changes by Conservation and Degradation / M. Christensen [et al.] // *J. Raman Spectrosc.* 2006. No. 37. P. 1171–1178.
27. Grattan D.W. A Practical Comparative Study of Several Treatments for Waterlogged Wood // *Stud. Conserv.* 1982. No. 27. P. 124–136.
28. Hocker E., Almkvist G., Sahlstedt M. The Vasa Experience with Polyethylene Glycol: A Conservator's Perspective // *J. Cult. Herit.* 2012. No. 13. P. 175–182.

29. Hoffmann P. On the Stabilization of Waterlogged Oakwood with PEG. II. Designing a Two-Step Treatment for Multi-Quality Timbers // *Stud. Conserv.* 1986. No. 31. P. 103–113.
30. Jensen P., Jensen J. B. Dynamic Model for Vacuum Freeze-Drying of Waterlogged Archaeological Wooden Artefacts // *J. Cult Herit.* 2006. No. 7. P. 156–165.
31. Purdy V. A. *Wet Site Archaeology*. Boca Raton, FL, USA: CRC Press, 2018. 351 p.
32. Леонович О. К., Дупанов С. А. Исследование зольных остатков мореного дуба различных возрастных периодов залегания в поймах рек // *Лесная инженерия, материаловедение и дизайн: тез. докл. 71-й науч.-техн. конф., Минск, 20–25 апр. 2020 г. Минск, 2023*. С. 137–138.
33. Леонович О. К., Дупанов С. А. Исследование физико-химических свойств натурального мореного дуба, используемого для производства эксклюзивных изделий и мебели // *Лес – 2020: тез. докл. XIX Междунар. науч.-техн. интернет-конф., 1–30 мая 2020 г. Брянск, 2020*. URL: http://science-bsea.bgita.ru/2020/les_2020/leonovich_komp.htm (дата обращения: 28.05.2023).
34. Дупанов С. А., Леонович О. К. Исследование физико-химических и прочностных свойств мореного дуба различных возрастных групп для изготовления изделий // *Лесная инженерия, материаловедение и дизайн: сб. ст. 85-й науч.-техн. конф. (с междунар. участием), Минск, 1–13 февр. 2021 г. Минск, 2021*. С. 144–147.
35. Леонович О. К., Дупанов С. А. Исследование химических и структурных свойств натурального мореного дуба методом сканирующей микроскопии // *Труды БГТУ. Сер. 1. Лесное хоз-во, природопользование и перераб. возобновляемых ресурсов. 2021. № 2 (240)*. С. 150–155. DOI: 10.52065/2519-402X-2021-240-150-155.
36. Леонович О. К., Дупанов С. А. Перспективные направления переработки натурального мореного дуба // *Лесная инженерия, материаловедение и дизайн: тез. докл. 84-й науч.-техн. конф., посвящ. 90-летию юбилею БГТУ и Дню белорусской науки (с междунар. участием), Минск, 3–14 февр. 2020 г. Минск, 2020*. С. 80–81.
37. Леонович О. К., Божелко И. К. Консервация археологических и деревянных строений в Беларуси // *Каласавины: материалы XXXIV науч. конф., Минск, 2 окт. 2020 г. Минск, 2020*. С. 8–10.
38. Леонович О. К., Мазало Н. А. Исследование долговечности археологической древесины, обработанной защитными составами // *Музейная здабыткі: материалы II Междунар. науч.-практ. конф., Брест, 12–13 нояб. 2020 г. Брест, 2020*. С. 30–35.
39. Курдюмов В. *Материалы для курса строительных работ. Вып. 1. Дерево*. СПб.: Типография Эрлиха Ю. Н., 1903. 143 с.
40. Дупанов С. А., Леонович О. К. Проблемы защиты древесины сосны и дуба в Республике Беларусь // *Лес – Наука – Инновации – 2022. Состояние и перспективы развития лесного комплекса в странах СНГ: сб. ст. II Междунар. науч.-техн. конф., Минск, 6–9 дек. 2022 г. Минск, 2022*. С. 238–241. URL: <https://www.belstu.by/nauka/ob-inf/konferenczii-v-bgtu-v-2022-godu/mezhhdunarodnyij-molodezhnyij-lesopromyshlennyij-forum-%C2%ABles-nauka-innovaczii-2022%C2%BB-sentyabr-oktyabr-2022> (дата обращения: 10.10.2022).
41. Леонович О. К., Дупанов С. А. Консервация археологических находок из мореного дуба // *Реставрация, консервация и музеефикация археологического дерева и органических материалов: материалы Междунар. конф., Казань, 1–5 нояб. 2022 г. Казань, 2022*. URL: <http://archtat.ru/events/mezhhdunarodnaya-konferentsiya-restavratsiya-konservatsiya-i-muzeefikatsiya-arheologicheskogo-dereva-i-organicheskikh-materialov> (дата обращения: 28.12.2022).
42. Дупанов С. А., Леонович О. К. Классификационный подход к оценке качественных характеристик натурального мореного дуба // *Лесная инженерия, материаловедение и дизайн: сб. ст. 87-й науч.-техн. конф. с междунар. участием, Минск, 31 янв. – 17 февр. 2023 г. Минск, 2023*. С. 146–149.
43. Дупанов С. А., Леонович О. К. Возрастная и видовая дифференциация натурального мореного дуба // *Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хоз-во, природопользование и перераб. возобновляемых ресурсов. 2023. № 2 (270)*. С. 204–209.
44. Леонович О. К., Дупанов С. А. Модифицирование древесины мореного дуба акрилатными соединениями // *Лес – 2022: тез. докл. XXII Междунар. науч.-техн. интернет-конф., Брянск, 1–30 нояб. 2022 г. Брянск, 2022*. URL: http://science-bsea.bgita.ru/2022/les_2022/leonovich_pol.htm (дата обращения: 28.12.2022).
45. Чичагова О. А., Заовская Э. П. Радиоуглеродный метод // *Естественно-научные методы исследования культурных слоев древних поселений*. М., 2004. С. 34–46.
46. *Методы физико-механических испытаний модифицированной древесины*. М.: Стройиздат, 1973. 47 с.
47. Дупанов С. А., Леонович О. К. Реологические свойства мореного дуба по поперечному срезу ствола // *Лесная инженерия, материаловедение и дизайн: сб. ст. 88-й науч.-техн. конф. с междунар. участием, Минск, 1–13 февр. 2024 г. Минск, 2024*. С. 146–149.

48. Леонович О. К., Дупанов С. А. Бездеформативная сушка натурального мореного дуба // Лес – 2023: тез. докл. XXIII междунар. науч.-техн. интернет-конф. Брянск, 1–30 нояб. 2023 г. Брянск, 2023. URL: http://science-bsea.bgita.ru/2023/les_2023/leonovich_pol.htm (дата обращения: 20.10.2023).

49. Дупанов С. А., Леонович О. К. Проблемы сохранения археологических объектов из натурального мореного дуба и сосны // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хоз-во, природопользование и перераб. возобновляемых ресурсов. 2024. № 1 (276). С. 165–172. DOI: 10.52065/2519-402X-2024-276-1-20.

References

1. Leonovich O. K., Dupanov S. A. Determination of the quality of natural bog oak depending on various physical, age and species characteristics. *Les – 2023: tezisy dokladov XXIII mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy internet-konferentsii* [Forest – 2023: abstracts of the reports of the XXIII International Scientific and Technical Internet Conference]. Bryansk, 2023. Available at: http://science-bsea.bgita.ru/2023/les_2023/leonovich_komp.htm (accessed 28.05.2023) (In Russian).

2. Dupanov S. A., Leonovich O. K. Rheological properties of bog oak along the cross section of the trunk. *Lesnaya inzheneriya, materialovedeniye i dizayn: tezisy dokladov 88-y nauchno-tekhnicheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiyem* [Forest engineering, materials science and design: abstracts of the reports of the 88th scientific and technical conference with international participation]. Minsk, 2023, p. 236 (In Russian).

3. Dupanov S. A., Leonovich O. K. Methodology of deformation-free drying and conservation of archaeological wood. *Lesnaya inzheneriya, materialovedeniye i dizayn: tezisy dokladov 88-y nauchno-tekhnicheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiyem* [Forest engineering, materials science and design: abstracts of the reports of the 88th scientific and technical conference with international participation]. Minsk, 2023, pp. 244–246 (In Russian).

4. Fengel D., Weneger G. *Drevesina (khimiya, ul'trastruktura, reaktsiya)* [Wood (chemistry, ultrastructure, reaction)]. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1988. 512 p. (In Russian).

5. Vanin S. I. *O fiziko-mekhanicheskikh svoystvakh drevesiny morenogo duba* [On the physical and mechanical properties of bog oak wood]. Leningrad, 1940, issue 56, pp. 63–79 (In Russian).

6. Ugolev B. N. *Drevesinovedeniye i lesnoye tovarovedeniye* [Wood science and forest commodity science]. Moscow, MSFU Publ., 2007. 351 p. (In Russian).

7. Khan L., Tian X., Keplinger T., Zhou H., Lee R., Swedstrom K., Burgert I., Yin Y., Guo J. Even visually intact cell walls in waterlogged archaeological wood are chemically degraded and mechanically brittle: a 170-year-old case. Old shipwreck. *Molecules*, 2020, no. 25, p. 1113.

8. Almkvist G., Persson I. Degradation of Polyethylene Glycol and Hemicellulose in the Vasa. *Holzforschung*, 2008, no. 62, pp. 64–70.

9. Pedersen N. B., Schmitt U., Koch G., Felby C., Thygesen L. G. Lignin Distribution in Waterlogged Archaeological *Picea Abies* (L.) Karst. Degraded by Erosion Bacteria. *Holzforschung*, 2014, no. 68, pp. 791–798.

10. Pedersen N. B., Gierlinger N., Thygesen L. G. Bacterial and Abiotic Decay in Waterlogged Archaeological *Picea Abies* (L.) Karst. Studied by Confocal Raman Imaging and ATR-FTIR Spectroscopy. *Holzforschung*, 2015, no. 69, pp. 103–112.

11. Salanti A., Zoia L., Tolppa E. L., Giachi G., Orlandi M. Characterization of Waterlogged Wood by NMR and GPC Techniques. *Microchem. J.*, 2010, no. 95, pp. 345–352.

12. Pinder A. P., Panter I., Abbott G. D., Keely B. J. Deterioration of the Hanson Logboat: Chemical and Imaging Assessment with Removal of Polyethylene Glycol Preserving Agent. *Sci. Rep.*, 2017, no. 7, p. 13697.

13. Modugno F., Ribechini E., Calderisi M., Giachi G., Colombini M. P. Analysis of Lignin from Archaeological Waterlogged Wood by Direct Exposure Mass Spectrometry (DE-MS) and PCA Evaluation of Mass Spectral Data. *Microchem. J.*, 2008, no. 88, pp. 186–193.

14. Bettazzi F., Giachi G., Staccioli G., Chimichi S. Chemical Characterization of Wood of Roman Ships Brought to Light in the Recently Discovered Ancient Harbor of Pisa (Tuscany, Italy). *Holzforschung*, 2003, no. 57, pp. 373–376.

15. Zisi A., Dix J. K. Simulating Mass Loss of Decaying Waterlogged Wood: A Technique for Studying Ultrasound Propagation Velocity in Waterlogged Archaeological Wood. *J. Cult. Herit.*, 2018, no. 33, pp. 39–47.

16. Macchioni N., Pecoraro E., Pizzo B. The Measurement of Maximum Water Content (MWC) on Waterlogged Archaeological Wood: A Comparison between Three Different Methodologies. *J. Cult. Herit.*, 2018, no. 30, pp. 51–56.

17. Jensen P., Gregory D. J. Selected Physical Parameters to Characterize the State of Preservation of Waterlogged Archaeological Wood: A Practical Guide for Their Determination. *J. Archaeol. Sci.*, 2006, no. 33, pp. 551–559.

18. Florian M.-L. E. Scope and History of Archaeological Wood. *Archaeological Wood: Advances in Chemistry*. Washington, DC, USA, 1989, vol. 225, pp. 3–32.

19. Braovac S., McQueen C. M. A., Sahlstedt M., Kutzke H., Lucejko J. J., Klokkernes T. Navigating Conservation Strategies: Linking Material Research on Alum-Treated Wood from the Oseberg Collection to Conservation Decisions. *Herit. Sci.*, 2018, no. 6, p. 77.
20. Braovac S., Kutzke H. The Presence of Sulfuric Acid in Alum-Conserved Wood-Origin and Consequences. *J. Cult. Herit.*, 2012, no. 13, pp. 203–208.
21. Morgós A., Imazu S., Ito K. Sugar Conservation of Waterlogged Archaeological Finds in the Last 30 Years. *Proceedings of the Conservation and Digitalization Conference*, Gdańsk, Poland, 2015, pp. 15–20.
22. Zoia L., Tamburini D., Orlandi M., Lucejko J. J., Salanti A., Tolppa E.-L., Modugno F., Colombini M. P. Chemical Characterization of the Whole Plant Cell Wall of Archaeological Wood: An Integrated Approach. *Anal. Bioanal. Chem.*, 2017, no. 409, pp. 4233–4245.
23. McQueen C. M. A., Tamburini D., Lucejko J. J., Braovac S., Gambineri F., Modugno F., Colombini M. P., Kutzke H. New Insights into the Degradation Processes and Influence of the Conservation Treatment in Alum-Treated Wood from the Oseberg Collection. *Microchem. J.*, 2017, no. 132, pp. 119–129.
24. McQueen C. M. A., Tamburini D., Braovac S. Identification of Inorganic Compounds in Composite Alum-Treated Wooden Artefacts from the Oseberg Collection. *Sci. Rep.*, 2018, no. 8, p. 2901.
25. Lucejko J. J., La Nasa J., McQueen C. M. A., Braovac S., Colombini M. P., Modugno F. Protective Effect of Linseed Oil Varnish on Archaeological Wood Treated with Alum. *Microchem. J.*, 2018, no. 139, pp. 50–61.
26. Christensen M., Frosch M., Jensen P., Schnell U., Shashoua Y., Nielsen O. F. Waterlogged Archaeological Wood-Chemical Changes by Conservation and Degradation. *J. Raman Spectrosc.*, 2006, no. 37, pp. 1171–1178.
27. Grattan D. W. A Practical Comparative Study of Several Treatments for Waterlogged Wood. *Stud. Conserv.*, 1982, no. 27, pp. 124–136.
28. Hocker E., Almkvist G., Sahlstedt M. The Vasa Experience with Polyethylene Glycol: A Conservator's Perspective. *J. Cult. Herit.*, 2012, no. 13, pp. 175–182.
29. Hoffmann P. On the Stabilization of Waterlogged Oakwood with PEG. II. Designing a Two-Step Treatment for Multi-Quality Timbers. *Stud. Conserv.*, 1986, no. 31, pp. 103–113.
30. Jensen P., Jensen J. B. Dynamic Model for Vacuum Freeze-Drying of Waterlogged Archaeological Wooden Artefacts. *J. Cult. Herit.*, 2006, no. 7, pp. 156–165.
31. Purdy B. A. *Wet Site Archaeology*. Boca Raton, FL, USA, CRC Press, 2018. 478 p.
32. Leonovich O. K., Dupanov S. A. Study of ash residues of bog oak of various age periods in river floodplains. *Lesnaya inzheneriya, materialovedeniye i dizayn: tezisy dokladov 71-y nauchno-tekhnicheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiyem* [Forest engineering, materials science and design: abstracts of the reports of the 85th scientific and technical conference with international participation]. Minsk, 2020, pp. 8–15 (In Russian).
33. Leonovich O. K., Dupanov S. A. Study of the physical and chemical properties of natural bog oak used for the production of exclusive products and furniture. *Les – 2020: tezisy dokladov XXII Mezhdunarodnoy nauchno-tehnicheskoy internet-konferentsii* [Forest – 2020: abstracts of the report of the XIX International Scientific and Technical Internet Conference]. Bryansk, 2020. Available at: http://science-bsea.bgita.ru/2020/les_2020/leonovich_komp.htm (accessed 28.05.2023) (In Russian).
34. Dupanov S. A., Leonovich O. K. Study of the physical, chemical and strength properties of bog oak of various age groups for the manufacture of products. *Lesnaya inzheneriya, materialovedeniye i dizayn: sbornik statey 85-y nauchno-tekhnicheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiyem* [Forest engineering, materials science and design: digest of articles of the 85th scientific and technical conference with international participation]. Minsk, 2021, pp. 144–145 (In Russian).
35. Leonovich O. K., Dupanov S. A. Study of the chemical and structural properties of natural bog oak using scanning microscopy. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], issue 1, Forestry. Nature Management. Processing of Renewable Resources, 2021, no. 2 (240), pp. 150–155. DOI: 10.52065/2519-402X-2021-240-20-150-155 (In Russian).
36. Leonovich O. K., Dupanov S. A. Promising directions for processing natural bog oak. *Lesnaya inzheneriya, materialovedeniye i dizayn: tezisy dokladov 84-y nauchno-tekhnicheskoy konferentsii, posvyashchennoy 90-letnemy yubileyu BGTU i Dnyu belorusskoy nauki (s mezhdunarodnym uchastiyem)* [Forest engineering, materials science and design: abstracts of the reports of the 84th scientific and technical conference, dedicated 90th anniversary of BSTU and the Day of Belarusian Science (with international participation)]. Minsk, 2020, pp. 80–81 (In Russian).
37. Leonovich O. K., Bozhelko I. K. Conservation of archaeological and wooden buildings in Belarus. *Kalasaviny: materialy XXXIV nauchnoy konferentsii* [Kalasaviny: materials of the XXXIV scientific conference]. Minsk, 2020, pp. 8–10 (In Russian).

38. Leonovich O. K., Mazalo N. A. Study of the durability of archaeological wood treated with protective compounds. *Muzeynyya zdabytki: materialy II Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Museum buildings: materials of the II International scientific-practical conference]. Brest, 2020, pp. 30–35 (In Russian).
39. Kurdyumov V. *Materialy dlya kursa stroitel'nykh rabot* [Materials for the course of construction work]. Vol. 1. Tree. St. Petersburg, Tipografiya Erlicha Yu. N. Publ., 1903. 143 p. (In Russian).
40. Dupanov S. A., Leonovich O. K. Problems of protecting pine and oak wood in the Republic of Belarus. Available at: <https://www.belstu.by/nauka/ob-inf/konferenczii-v-bgtu-v-2022-godu/mezhdunarodnyij-molodezhnyij-lesopromyshlennyij-forum-%C2%ABles-nauka-innovaczii-2022%C2%BB-sentyabr-oktyabr-2022> (accessed 10.09.2023) (In Russian).
41. Leonovich O. K., Dupanov S. A. Conservation of archaeological finds from bog oak. Available at: <http://archtat.ru/events/mezhdunarodnaya-konferentsiya-restavratsiya-konservatsiya-i-muzeifikatsiya-arheologicheskogo-dereva-i-organicheskikh-materialov/> (accessed 28.12.2022) (In Russian).
42. Dupanov S. A., Leonovich O. K. Classification approach to assessing the qualitative characteristics of natural bog oak. *Lesnaya inzheneriya, materialovedeniye i dizayn: sbornik statey 87-y nauchno-tekhnicheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiyem* [Forest engineering, materials science and design: digest of articles of 87th scientific and technical conference with international participation]. Minsk, 2023, pp. 146–149 (In Russian).
43. Dupanov S. A., Leonovich O. K. Age and species differentiation of natural bog oak. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], issue 1, Forestry. Nature Management. Processing of Renewable Resources, 2023, no. 2 (270), pp. 204–209 (In Russian).
44. Leonovich O. K., Dupanov S. A. Modification of bog oak wood with acrylate compounds. *Les – 2020: tezis dokladov XXII Mezhdunarodnoy nauchno-tehnicheskoy internet-konferentsii* [Forest – 2020: abstracts of the report of the XIX International Scientific and Technical Internet Conference]. Bryansk, 2020. Available at: http://science-bsea.bgita.ru/2022/les_2022/leonovich_komp.htm (accessed 28.05.2023) (In Russian).
45. Chichagova O. A., Zazovskaya E. P. Radiocarbon method. *Yestestvenno-nauchnyye metody issledovaniya kul'turnykh sloyov drevnykh poseleniy* [Natural scientific methods for studying the cultural layers of ancient settlements]. Moscow, 2004, pp. 34–46 (In Russian).
46. *Metody fiziko-mekhanicheskikh ispytaniy modifitsirovannoy drevesiny* [Methods of physical and mechanical testing of modified wood]. Moscow, Stroyizdat Publ., 1973. 47 p. (In Russian).
47. Dupanov S. A., Leonovich O. K. Classification approach to assessing the qualitative characteristics of natural bog oak. *Lesnaya inzheneriya, materialovedeniye i dizayn: sbornik statey 87-y nauchno-tehnicheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiyem* [Forest engineering, materials science and design: digest of articles of the 87th scientific and technical conference with international participation]. Minsk, 2023, pp. 146–149 (In Russian).
48. Leonovich O. K., Dupanov S. A. Deformation-free drying of natural bog oak. *Les – 2023: tezis dokladov XXII Mezhdunarodnoy nauchno-tehnicheskoy internet-konferentsii* [Forest – 2023: abstracts of the report of the XXIII International Scientific and Technical Internet Conference]. Bryansk, 2023. Available at: http://science-bsea.bgita.ru/2023/les_2023/leonovich_komp.htm (accessed 28.05.2023) (In Russian).
49. Dupanov S. A., Leonovich O. K. Problems of preservation of archaeological objects from natural bog oak and pine. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], issue 1, Forestry. Nature Management. Processing of Renewable Resources, 2024, no. 1 (276), pp. 165–172. DOI: 10.52065/2519-402X-2024-276-22 (In Russian).

Информация об авторах

Леонович Олег Константинович – кандидат технических наук, доцент кафедры технологии деревообрабатывающих производств. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: okl2001@mail.ru

Дупанов Сергей Александрович – аспирант, инженер кафедры технологии деревообрабатывающих производств. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: ser.dupanov@gmail.com

Information about the authors

Leonovich Oleg Konstantinovich – PhD (Engineering), Assistant Professor, the Department of Woodworking Technology. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: okl2001@mail.ru

Dupanov Sergey Alexandrovich – PhD student, engineer, the Department of Woodworking Technology. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., Minsk, 220006, Republic of Belarus). E-mail: ser.dupanov@gmail.com

Поступила 20.03.2024