

УДК 038.742.046.73

С. А. Дупанов, О. К. Леонович

Белорусский государственный технологический университет

**ПРОБЛЕМЫ СОХРАНЕНИЯ АРХЕОЛОГИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ
ИЗ НАТУРАЛЬНОГО МОРЕНОГО ДУБА И СОСНЫ**

Археологические объекты, поднятые из пойм рек и воды, крайне переувлажнены. Структура древесины в процессе тысячелетнего хранения в среде без доступа свободного кислорода сохранилась в первоначальном виде, но со всеми повреждениями, предшествующими попаданию их в эту закрытую среду. Добытая древесина после попадания в открытую среду подвергается быстрому разрушению. Исследования по сушке и сохранению археологических объектов (лодка сосновая XII в. и лодка XVI в. из древесины мореного дуба, находящиеся в историческом музее Института истории Республики Беларусь) проводились методом моделирования на образцах натурального мореного дуба и сосны возрастом 800 и 500 лет соответственно, добытых предприятием ГОДО «Транс-Центр» в пойме реки Сож.

В результате исследования деформативных явлений, возникающих на образцах мореной древесины после извлечения ее из водной среды, предложена методика сушки в изолированном состоянии путем удаления влаги под воздействием гравитационных сил с последующим перемещением зоны большего увлажнения в нижнее положение. Образцы, достигшие 20% влажности, консервировались водорастворимым антисептиком на основе солей меди и железа. После дополнительной сушки до 6% образец мореной древесины укреплялся гидрофобизирующим масляным лаком. Предлагаемая методика сушки, консервирования и гидрофобизации мореной древесины обеспечит снижение деформаций, устойчивость к увлажнению и поражению грибами.

Ключевые слова: мореный дуб и сосна, переувлажненная древесина, археологическая древесина, деградация, сушка, консервирование.

Для цитирования: 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-2024-276-22.

S. A. Dupanov, O. K. Leonovich

Belarusian State Technological University

**PROBLEMS OF PRESERVATION OF ARCHAEOLOGICAL OBJECTS
FROM NATURAL BOG OAK AND PINE**

Archaeological objects raised from floodplains of rivers and water are extremely waterlogged. During thousands of years of storage in an environment without access to free oxygen, the structure of wood was preserved in its original form, but with all the damage that preceded its entry into this closed environment. Extracted wood, once released into the open environment, undergoes rapid destruction. Research on the drying and preservation of archaeological objects (a 12th-century pine boat and a 16th-century boat made of bog oak wood, located in the historical museum of the Institute of History of the Republic of Belarus) was carried out using the modeling method on samples of natural bog oak and pine 800 and 500 years old, extracted by the GODO enterprise “Trans-Center” in the floodplain of the Sozh River.

As a result of the study of deformation phenomena that occur on samples of stained wood after its removal from the aquatic environment, a drying technique in an isolated state was proposed by removing moisture under the influence of gravitational forces, followed by moving the zone of greater moisture to a lower position. Samples that reached 20% humidity were preserved with a water-soluble antiseptic based on copper and iron salts. After additional drying to 6%, the stained wood sample was strengthened with a water-repellent oil varnish. The proposed method of drying, preserving and hydrophobizing stained wood will ensure a reduction in deformation, resistance to moisture and fungal attack.

Keywords: bog oak and pine, waterlogged wood, archaeological wood, degradation, drying, preservation.

For citation: Dupanov S. A., Leonovich O. K. Problems of preservation of archaeological objects from natural bog oak and pine. *Proceedings of BSTU, issue 1, Forestry. Nature Management. Processing of Renewable Resources*, 2024, no. 1 (276), pp. 165–172 (In Russian).

DOI: 10.52065/2519-402X-2024-276-22.

Введение. Сохранением древесины ценных пород занимаются многие ученые. Особая роль

отводится сушке древесины, добытой из водной среды, где она находилась тысячелетиями.

Отдельные авторы считают необходимым обращать внимание на химический состав добытой древесины и его влияние на скорость продвижения жидкости к поверхности [1–3]. Проблемы, возникающие в процессе сушки мореной древесины, обсуждались в работах авторов, однако методического решения найдено не было [4, 5]. Известна пропитка сырых пиломатериалов в гидрофильных жидкостях, которая меняет цвет древесины и снижает физико-механические свойства. Камерная сушка бревен и сушка в парах органических жидкостей также не может иметь широкого применения из-за высокой сложности и пожароопасности.

При исследованиях археологической древесины, модифицированной фенольными смолами с этиленгликолем, которые проводились в музее «Берестье», установлено, что такая древесина меняет цвет, структуру и выделяет вредные вещества в атмосферу [6, 7]. Модификация не рекомендуется для защиты натурального мореного дуба.

Для подсушивания круглых лесоматериалов до влажности 30–70% использовалась паровакуумная сушка [8].

Направления защиты археологической древесины натурального мореного дуба различных периодов роста были впервые рассмотрены в работах [9–13].

Информации о сушке мореной древесины и археологических находок из нее, особенно с момента ее добычи, в литературе не обнаружено.

Ранее проведенные исследования в основном для сохранения качественных характеристик пиловочного сырья и продукции из него некорректно использовать для сохранения мореной древесины возрастом от 500 до 800 лет.

Исследования по сохранению археологических объектов (лодка сосновая XII в. и лодка XVI в. из древесины мореного дуба, находящиеся в историческом музее Института истории Республики Беларусь) проводились методом моделирования на образцах натурального мореного дуба и сосны возрастом 800 и 500 лет, добытых в пойме реки Сож предприятием ГОДО «Транс-Центр».

Основная часть. Мореная древесина в процессе длительного залегания в безвоздушной влажной среде подвержена различным процессам, скорость и интенсивность которых зависят от конкретных размеров, а также от физико-механических характеристик самого исходного материала.

Исследованию подверглись образцы, возраст которых определялся методами дифференцированного анализа на основе видовых и возрастных характеристик мореной древесины и подтверждался методом радиоуглеродного анализа [14].

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 быстрая скорость высыхания ослабленной древесины на поверхности, способствует 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.

Основная задача сохранения археологической древесины – это не допустить быстрой скорости сушки при попадании ее в открытую воздушную среду. Рассмотрению данной проблемы уделено основное внимание в работе.

Первоначальная влажность мореной древесины зависит от изначальной плотности, которая может достигать 1530 кг/м^3 . Обычная древесина, которая в абсолютно сухом состоянии имеет плотность 640 кг/м^3 и при максимальном увлажнении до 80% – 822 кг/м^3 , не может иметь массу древесного вещества, так как оно включает пустоты (полости клеток и межклеточные пространства, заполненные воздухом). Но в древесине мореного дуба эти пустоты заполнены водой и другими включениями.

При таком повышении влажности существенно увеличивается деформативность древесины. Например, линейные размеры увеличиваются до 40%. Древесина дуба, попадая в водную среду, увеличивает свои линейные размеры в зависимости от состава сухого древесного вещества и структурных изменений. Увеличение размеров и деформаций в мореной древесине происходит по нелинейной зависимости.

Предел насыщения достигает 40–50% в зависимости от времени залегания древесины.

В процессе сушки мореной древесины линейные размеры уменьшаются, напряжения, накопленные в материале, увеличивают риск коробления и появления дефектов в виде трещин, расколов и т. д.

Мореная древесина, находящаяся в безвоздушной влажной среде, законсервирована и поэтому, несмотря на повышенную деформативность, внутренние напряжения и реактивные силы практически равны нулю. При осушении такой древесины удаление свободной влаги увеличивается в десятки раз в сравнении со свежеспиленной древесиной дуба. Катализатором процесса сушки мореной древесины являются:

- интенсивность УФ-излучения;
- температура воздуха;
- влажность окружающей среды.

Также мореная древесина во влажном состоянии является биологически неустойчивой, что приводит к быстрому появлению плесени и грибов, которые поражают древесные ткани и приводят их к разрушению.

Процесс сушки мореной древесины кардинально отличается от сушки обычной древесины, так как все процессы, способствующие деградации, а также процессы, нарушающие качественно-технические характеристики, ускорены в несколько раз. Объемные и линейные размеры начинают изменяться при влажности 40–45% из-за большого количества влаги в клеточных стенках. У древесины свежеспиленного дуба она изменяется начиная от 30%.

Эти факты усложняют процесс сушки, но при правильном подходе позволяют значительно увеличить качественные и потребительские характеристики мореной древесины. В начале процесса сушки мореной древесины наблюдается неравномерное распределение влаги. Периферийный слой под влиянием внешних факторов отдает свободную влагу очень быстро, поэтому влага внутри материала перемещается в сторону пониженной температуры, верхние слои пересыхают, а центральные остаются влажными, что вызывает растрескивание древесины.

Появление плесени и различных видов грибов свойственно натуральной мореной древесине из-за понижения скорости сушки и недостаточной циркуляции воздуха.

Равномерности удаления влаги по длине бревна достигается поэтапным изменением прокладок. Прокладки обеспечивают горизонтальное положение ствола с учетом его сбега.

Методика исследований. Отбор образцов для определения первоначальной влажности и плотности свежеспиленной древесины и древесины в процессе сушки производился по методике ЦНИИСК им. Кучеренко [15].

Влажность верхнего слоя бревна, которая должна поддерживаться на уровне 40–45% и выше, т. е. выше точки насыщения клеточных стенок, периодически проверялась приростным буром. Качество сушки, т. е. трещинообразование и возникающие деформации, определялось визуально.

Методика и регламент поэтапной сушки предложены с учетом результатов сушки крупногабаритных образцов изолированного мореного дуба. В процессе сушки периодически контролировалась влажность верхнего слоя (не ниже 40–45%), обеспечивающая бездеформативную сушку и в то же время удаление влаги.

Движение жидкости при сушке определяли по известному уравнению избыточного гидравлического давления (P , кПа):

$$P = P_a + \rho gh,$$

где P_a – атмосферное давление, кПа ($P_a = 106$ кПа); ρ – плотность воды при 20°C, кг/см³ ($\rho = 998,2$ кг/см³); g – ускорение свободного падения, м/с² ($g = 9,81$ м/с²); h – высота по диаметру бревна в верхней точке, см.

В нижней точке $h_0 = 0$. При этом внизу бревна возникает безнапорное движение жидкости, составляющие (P_6 , кПа):

$$P_6 = \rho gh.$$

Поэтапная сушка мореной древесины и археологических находок из нее выполняется одинаково, если их возрастные характеристики и места залегания совпадают.

Ниже приведем изображения ствола мореного дуба, процесса его раскряжевки для заготовки образцов по определению влажности и реологических свойств, а также среза высоковлажных зон (рис. 1–3).

Сушка мореной древесины включает следующие этапы.

1. Понижение влажности с 200 до 100% путем:
 - изоляции ствола дерева пропиленовой пленкой;
 - очищения от остатков водных отложений для предотвращения влагоконцентрирующих мест и биоразрушающих очагов;
 - создания условий пропаривания мореной древесины при относительной влажности воздуха, равной 97–98%, и температуре от 5 до 80°C;
 - обеспечения защиты от УФ-излучения.

Первый этап позволяет создать мягкое снижение содержания свободной влаги. Требуется постоянный контроль влажности для предотвращения образования паразитирующих дереворазрушающих очагов. Контроль влажности на первоначальном этапе осуществляется на образцах размером 10×10×8 мм. Образцы взвешивают с точностью до 0,01 г, затем высушивают в шкафу при температуре 103 ± 2°C.

Влажность (W , %) натуральной древесины определяют по формуле

$$W = \frac{M_w - M_0}{M_0} \cdot 100,$$

где M_w – влажность сырой древесины мореного дуба, %; M_0 – влажность древесины мореного дуба в абсолютно сухом состоянии, %.

В дальнейшем контроль за сушкой осуществлялся влагомером ЭВ-2К.

Продолжительность в зависимости от первоначальной влажности и габаритных размеров древесины – от 30 до 180 дней.

Изолирование ствола мореного дуба с целью уменьшения скорости сушки изображено на заднем плане (рис. 3). Увеличение скорости сушки влечет появление видимых дефектов, нарушение

целостности качественно-технических и потребительских свойств [5].

В процессе сушки необходимо обеспечить попеременную кратковременную циркуляцию воздуха.



Рис. 1. Ствол свежесподнятого мореного дуба



Рис. 2. Процесс раскряжевки мореного дуба



Рис. 3. Срез влажностью 142% с целым периферийным слоем

2. Понижение влажности со 100 до 50% за счет:

- создания условий постоянной вентиляции без температурного изменения;
- поддержания температуры в пределах 10–15°C;
- соблюдения влажности воздуха в пределах 80–98%;

– постоянной перекладки, переворота находок для сохранения геометрии и сброса напряжений в материале.

Несоблюдение режима сушки и ускорение этого процесса ведут к появлению всевозможных дефектов, изображенных на рис. 4.



Рис. 4. Последствия неправильного режима сушки

Второй этап является самым важным и длительным этапом в сушке мореной древесины. В данный период происходит накопление самых больших напряжений в материале ввиду его усушки и рост реактивных сил. Самый выгодный источник тепла для данного метода – тепло земли. На глубине приблизительно 5 м температура земли постоянна и равна 10°C. На такой глубине должна происходить сушка бревен с соблюдением температурно-влажностных параметров.

Для предотвращения коробления и сохранения геометрии необходимо обеспечить перекладку (переворот) древесины 2–4 раза за период, для больших сечений материала – более 4 раз. На этом этапе древесина меньше подвержена появлению паразитирующих очагов за счет постоянной вентиляции воздуха. Особого внимания требуют места соприкосновения с подкладочным материалом.

Продолжительность второго периода составляет от 180 до 360 дней.

3. Понижение влажности с 50 до 30% путем:

- создания условий постоянной вентиляции;
- обеспечения температуры в пределах 10–20°C;
- соблюдения влажности воздуха в пределах 60–70%;
- постоянной перекладки и переворота находок из мореной древесины для сохранения геометрии и сброса напряжений в материале;
- покрытия древесины биостойким составом на водной основе, содержащим железомедные соединения.

Вид деформаций и образование трещин при неизолированной сушке ствола мореного дуба изображен на рис. 5.



Рис. 5. Деформации спила мореного дуба

Третий этап требует покрытия мореной древесины биостойким составом, водная основа которого снизит напряжения внутри материала, позволив сохранить геометрию, а также обеспечит максимальную биозащиту в самом ответственном температурно-влажностном диапазоне.

Продолжительность третьего этапа от 120 до 360 дней.

4. Этап досушки древесины с 30% до рабочей влажности $6 \pm 2\%$ при эксплуатации в отопляемых помещениях. Если древесина будет эксплуатироваться в неотапливаемых помещениях, то рабочая влажность составит $10 \pm 2\%$. Режим низкотемпературной сушки выбирается в зависимости от требуемой конечной влажности. На данном этапе необходимо принять меры по предотвращению коробления и изменению геометрии древесины. Для этого выбирают режим плавного снижения влажности. Важным параметром для выбора режима досушки являются требуемые конечные прочностные и качественные характеристики из-за большого содержания связанной влаги в древесине мореного дуба.

Продолжительность четвертого этапа от 30 до 60 дней.

Объемная усушка мореной древесины дуба достигает 15–20%, в то время как натуральной 12%.

Изменения линейных размеров и появление дефектов в процессе поэтапной сушки мореной древесины не наблюдаются на первом и втором этапах сушки, так как в этих периодах сушки удаляется свободная влага из полостей клеток мореной древесины.

На третьем этапе сушки влажность снижается от 50 до 30%.

В процессе сушки замечено уменьшение объемных размеров на 5–7%, означающее что, предел насыщения клеточных стенок у мореной древесины выше чем 30%.

На четвертом этапе изменения объемных показателей составили 20%, что также превышает показатели объемной усушки для натуральной древесины дуба.

В процессе сушки крупноразмерных бревен согласно предложенной методике поэтапной сушки разработаны мероприятия по предотвращению возникновения деформативных явлений.

Меры предупреждения возникновения дефектов при сушке мореной древесины приведены в таблице.

Предлагаемые этапы, установленные на основании опытных сушек, проведенных на объектах ГОДО «Транс-Центр» определили основные направления в этой области. В зависимости от исходной влажности сырья, его габаритных размеров и состояния на момент начала сушки необходимо корректировать отдельные параметры температуры сушки, относительной влажности воздуха и скорости его циркуляции.

Данная методология поэтапной сушки мореной древесины может быть применена и для бездеформативной сушки сосны, а также объектов археологических находок из мореной древесины аналогичных возрастных периодов и идентичных мест залегания.

Разработанная поэтапная сушка может послужить методологической основой для сохранения археологических объектов (лодка сосновая XII в. и лодка XVI в. из древесины мореного дуба).

В таблице приведены основные дефекты, возникающие в процессе сушки, обозначены причины их возникновения и предложены меры по их предупреждению.

Дефекты при сушке мореной древесины и меры предупреждения их возникновения

Дефект	Причины возникновения	Меры предупреждения
Пластовые трещины	Высокая скорость сушки	Поэтапная сушка, увлажнение
Внутренние трещины	Большие внутренние напряжения	Корректировка температуры
Торцевые трещины	Быстрая сушка торцевых частей	Правильная укладка, выравнивание торцов
Коробление	Радиальная усушка	Правильная укладка, выравнивание и нагружение штабелей

Заключение. Впервые предложенная методика поэтапной сушки мореной древесины предусматривает на первом этапе изоляцию мореной древесины от окружающей среды и сушку от 200 до 100%. На последующих двух этапах сушка происходит при максимальной влажности и низких температурах. На четвертом этапе обеспечивается медленная досушка до влажности, зависящей от условий дальнейшей эксплуатации мореной древесины.

Установлено, что уменьшение размеров высушиваемой древесины наблюдается при влажности в пределах 40%, а это выше, чем у натуральной древесины, где изменения размерных характеристик отмечаются при влажности ниже 30%.

Предложенная методика поэтапной сушки при низких температурах и высокой относительной влажности среды может быть применена для древесины мореного дуба и сосны других

размерных характеристик и влажности с соблюдением контроля параметров сушильного агента и параметров древесины, не допуская на первых трех этапах снижения влажности высушиваемых материалов ниже точки предела насыщения волокон.

Поэтапная сушка, предложенная в работе, может быть использована также для бездеформативной сушки археологических находок из мореной древесины.

Применение двухэтапной защиты мореной древесины вначале консервирующими водорастворимыми средствами, а затем упрочняющими лаками позволяет защитить древесину от повреждения грибами и гидрофобизировать ее от увлажнения и дальнейшего разрушения.

Результаты полученных исследований могут быть использованы при разработке методики сушки и защиты археологических объектов такого же возрастного периода залегания.

Список литературы

1. Фенгел Д., Вегенер Г. Древесина (химия, ультраструктура, реакция). М.: Лесная пром-сть, 1988. 512 с.
2. 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: материалы 85-й науч.-техн. конф. с междунар. участием, Минск, 1–13 февр. 2021 г. Минск, 2021. С. 8–15.
3. 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-2021-240-20-150-155.
4. Леонович О. К., Дупанов С. А. Перспективные направления переработки натурального мореного дуба // Лесная инженерия, материаловедение и дизайн: материалы докладов 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.
5. 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/mezhdunarodnyij-molodezhnyij-lesopromyishlennyij-forum-%C2%ABles-nauka-innovaczii-2022%C2%BB-sentyabr-oktyabr-2022> (дата обращения: 10.10.2022 г.).
6. Леонович О. К., Божелко И. К. Консервация археологических и деревянных строений в Беларуси // Каласавіны: материалы XXXIV науч. конф., Минск, 2 окт. 2020 г. Минск, 2020. С. 8–10.
7. Леонович О. К., Мазало Н. А. Исследование долговечности археологической древесины, обработанной защитными составами // Музейныя здабыткі: материалы II Междунар. науч.-практ. конф., Брест, 12–13 нояб. 2020 г. Брест, 2020. С. 30–35.
8. Курдюмов В. Материалы для курса строительных работ. Вып. 1. Дерево. СПб.: Типография Эрлиха Ю. Н., 1903. 143 с.
9. 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. URL: <http://archtat.ru/events/mezhdunarodnaya-konferentsiya-restavratsiya-konservatsiya-i-muzeefikatsiya-arheologicheskogo-dereva-i-organicheskikh-materialov/> (дата обращения: 28.12.2022).
10. 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).

11. Дупанов С. А., Леонович О. К. Классификационный подход к оценке качественных характеристик натурального мореного дуба // Лесная инженерия, материаловедение и дизайн: материалы докл. 87-й науч.-техн. конф. с междунар. участием, Минск, 31 янв. – 17 февр. 2023 г. Минск, 2023. С. 146–149.
12. 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.
13. 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., Брянск, 1–30 мая 2023 г. Брянск, 2023. URL: http://science-bsea.bgita.ru/2023/les_2023/leonovich_komp.htm (дата обращения: 28.05.2023).
14. Чичагова О. А., Заовская Э. П. Радиоуглеродный метод // Естественно-научные методы исследования культурных слоев древних поселений. М., 2004. С. 34–46.
15. Методы физико-механических испытаний модифицированной древесины. М.: Стройиздат, 1973. 47 с.

References

1. Fengel D., Wegener G. *Drevesina (khimiya, ul'trastruktura, reaktsiya)* [Wood (chemistry, ultrastructure, reaction)]. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1988. 512 p. (In Russian).
2. 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: materialy 85-y nauchno-tekhnicheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiyem* [Forest engineering, materials science and design: materials of the 85th scientific and technical conference with international participation]. Minsk, 2021, pp. 8–15 (In Russian).
3. 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).
4. Leonovich O. K., Dupanov S. A. Promising directions for processing natural bog oak. *Lesnaya inzheneriya, materialovedeniye i dizayn: materialy dokladov 84-y nauchno-tekhnicheskoy konferentsii, posvyashchennoy 90-letnemy yubileyu BGTU i Dnyu belarusskoy nauki (s mezhdunarodnym uchastiyem)* [Forest engineering, materials science and design: materials of 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).
5. 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).
6. 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).
7. 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).
8. 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).
9. Leonovich O. K., Dupanov S. A. Conservation of archaeological finds from bog oak. Available at: <http://archtat.ru/events/mezhdunarodnaya-konferentsiya-restavratsiya-konservatsiya-i-muzeefikatsiya-arheologicheskogo-dereva-i-organicheskikh-materialov/> (accessed 28.12.2022) (In Russian).
10. Leonovich O. K., Dupanov S. A. Modification of bog oak wood with acrylic compounds. Available at: http://science-bsea.bgita.ru/2022/les_2022/leonovich_pol.htm (accessed 28.12.2022) (In Russian).
11. Dupanov S. A., Leonovich O. K. Classification approach to assessing the qualitative characteristics of natural bog oak. *Lesnaya inzheneriya, materialovedeniye i dizayn: materialy dokladov 87-y nauchno-tekhnicheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiyem* [Forest engineering, materials science and design: materials of reports of 87th scientific and technical conference with international participation]. Minsk, 2023, pp. 146–149 (In Russian).

12. 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).

13. Leonovich O. K., Dupanov S. A. Determination of the quality of natural bog oak depending on various physical, age and species characteristics. Available at: http://science-bsea.bgita.ru/2023/les_2023/leonovich_komp.htm (accessed 28.05.2023) (In Russian).

14. Chichagova O. A., Zazovskaya E. P. *Yestestvenno-nauchnyye metody issledovaniya kul'turnykh sloyov drevnikh poseleniy* [Natural scientific methods for studying the cultural layers of ancient settlements]. Moscow, 2004, pp. 34–46 (In Russian).

15. *Metody fiziko-mekhanicheskikh ispytaniy modifitsirovannoy drevesiny* [Methods of physical and mechanical testing of modified wood]. Moscow, Stroyizdat Publ., 1973. 47 p. (In Russian).

Информация об авторах

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

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

Information about the authors

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

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

Поступила 17.10.2023