

Оригинальная статья

DOI: <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2025.1/4>

УДК 630.81



Технология формирования текстуры древесины с помощью направленного изменения ее проницаемости

Евгения В. Акинина¹ ✉, eugeniya.mitina@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5723-8883>

Сергей Г. Елисеев¹, eliseevsg@sibsau.ru <https://orcid.org/0000-0002-7746-0158>

Владимир Н. Ермолин¹, vnermolin@yandex.ru <https://orcid.org/0000-0002-2113-4142>

¹ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева», просп. им. газеты Красноярский рабочий, 31, г. Красноярск, 660037, Российская Федерация

В данной работе решалась задача избирательного окрашивания древесины за счет управляемого изменения ее проницаемости. Путем избирательного окрашивания обеспечивается формирование искусственной текстуры древесины при пропитке, что позволяет повысить декоративные свойства древесины берёзы. Для этого применялась продувка отдельных участков древесины воздухом для удаления из них свободной влаги, выдержка в термостате при определенных условиях для формирования побурения и пропитка раствором красителя в автоклаве. В ходе исследований установлены оптимальные параметры выдержки древесины для равномерного протекания побурения: температура 30 °С, влажность воздуха 75 %. При побурении газопроницаемость древесины берёзы снизилась в 9 раз в сравнении с контролем. Побурение делает древесину непроницаемой для окрашивающего раствора. На участках, где проводилась продувка, побурение протекает без существенного снижения проницаемости. Продувка обеспечивает полное окрашивание подготовленных участков. Это открывает новые возможности по созданию природоподобных текстур и расширяет использование древесины берёзы для производства декоративных изделий и отделочных материалов. Предложенная технология является экономически доступной, так как может быть реализована на серийно выпускающемся оборудовании и не требует значительных изменений в организации деревообрабатывающих производств.

Ключевые слова: *древесина, берёза, проницаемость, побурение, текстура, глубокое окрашивание*

Финансирование: Работа выполнена в рамках государственного задания Минобрнауки России на выполнение коллективом научной лаборатории «Биорефайнинг лесных ресурсов» проекта «Исследование закономерностей процессов биодеструкции древесины погибших древостоев для разработки научно-обоснованных подходов получения новых функциональных материалов» (Номер темы FEFE-2024-0032).

Благодарности: авторы благодарят рецензентов за вклад в экспертную оценку статьи.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Акинина Е.В. Технология формирования текстуры древесины с помощью направленного изменения ее проницаемости / С.Г. Елисеев, В.Н. Ермолин // Лесотехнический журнал. – 2025. – Т. 15. – № 1 (57). – С. 59-71. – Библиогр.: с. 68-71 (20 назв.). – DOI: <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2025.1/4>

Поступила 24.12.2024. Пересмотрена 21.01.2025. Принята 07.02.2025. Опубликовано онлайн 24.03.2025.

Article

Wood texture formation technology by means of targeted change in its permeability

Evgeniya V. Akinina¹ ✉, eugeniya.mitina@yandex.ru,  <https://orcid.org/0000-0002-5723-8883>

Sergey G. Eliseev¹, eliseevsg@sibsau.ru  <https://orcid.org/0000-0002-7746-0158>

Vladimir N. Ermolin¹, vnermolin@yandex.ru  <https://orcid.org/0000-0002-2113-4142>

Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, prospekt im. gazeta Krasnoyarsk worker, 31, Krasnoyarsk, 660037, Russian Federation

Abstract

In this work, the problem of selective coloring of wood was solved due to a controlled change in its penetrability. The formation of an artificial wood texture during impregnation is provided by the selective coloring which makes it possible to increase the decorative properties of birch wood. For this purpose, air purging of particular sections of wood was used to remove free moisture from them, exposure to a thermostat under certain conditions to form browning, and impregnation with a dye solution in an autoclave. During the study the optimal parameters of wood aging for uniform browning were established: temperature of 30 °C, 75 % of air humidity. During the browning process the gas permeability of birch wood decreased by 9 times compared to the control. Browning makes the wood impervious to the coloring solution. In the areas affected by purging, browning occurs without a significant decrease in penetrability. Purging ensures a complete coloring of the prepared areas. This opens up new possibilities for creating nature-like textures and expands the use of birch wood for the production of decorative products and finishing materials. The proposed technology is economically affordable, as it can be implemented on mass-produced equipment and does not require significant changes in the organization of woodworking industries.

Keywords: *wood, birch, permeability, browning, texture, deep staining*

Funding: The work was carried out within the frames of the state assignment of the Ministry of Education and Science of Russia for the implementation by the team of the scientific laboratory «Biorefining of Forest Resources» of the project «Investigation of Regularities of the Processes of Perished Forest Stand Wood Biodegradation for the Development of Scientifically-Based Approaches to the Production of New Functional Materials» (subject number: FEFE-2024-0032).

Acknowledgments: authors thanks the reviewers for their contribution to the peer review.

Conflict of interest: the authors declares no conflict of interest.

For citation: Akinina E.V., Eliseev S.G., Ermolin V.N. (2024). The technology of forming the texture of wood by means of a directional change in its permeability. *Forestry Engineering journal*, Vol. 15, No. 1 (57), pp. 59-71 (in Russian). –DOI: <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2025.1/4>.

Received 24.12.2024. *Revised* 21.01.2025. *Accepted* 07.03.2025. *Published online* 24.03.2025.

Введение

Древесина является возобновляемым природным материалом, широко используемым в различ-

ных отраслях промышленности во всем мире. Благодаря своим уникальным свойствам, древесина востребована в домостроении, производстве мебели и предметов интерьера. Помимо показателей удельной прочности, при использовании натуральной

древесины большое внимание уделяется ее внешнему виду, формируемому за счет особенностей цвета и текстуры [1,2]. Древесина ценных пород обладает выразительной текстурой и привлекательным цветом. Как правило, такая древесина пользуется большим спросом в производстве продукции, для которой имеют большое значение эстетические характеристики. При этом запасы такой древесины крайне ограничены, что делает ее мало доступной для массового производства. Одним из вариантов решения данной проблемы является повышение декоративных свойств древесины широко распространенных малоценных лиственных пород.

К таким породам относится древесина берёзы, которая используется в основном при изготовлении лащениго шпона и мебельного щита. Древесина берёзы является заболонной породой, обладает светлым, желтоватым цветом со слабо выраженной текстурой [3,4]. Основные водопроводящие элементы – сосуды, равномерно распределены по ширине годичного слоя, поэтому при сквозной пропитке окрашивающими составами краситель распределяется относительно равномерно, что мало способствует повышению декоративных свойств древесины [5-7].

В настоящее время существует множество способов улучшения декоративных свойств древесины. К ним относится поверхностное и глубокое крашение древесины, избирательное окрашивание отдельных анатомических элементов древесины, комбинированная обработка поверхности с целью подчеркивания естественной текстуры древесины, метод лазерной перфорации и способ нанесения печати на поверхность древесины для имитации текстуры ценных пород [8-14].

Методы поверхностной обработки высокоэффективны, однако не всегда позволяют сохранить естественный вид окрашенного материала и не могут быть подвергнуты дальнейшей механической обработке. Метод глубокого окрашивания позволяет равномерно распределить окрашивающие вещества на всю длину заготовки, но текстура ограничивается зонами годичного слоя. Кроме того, этот метод подходит только для хорошо пропитываемых заболонных пород древесины. Большинство спосо-

бов избирательного окрашивания древесины не получили практического распространения из-за сложности и трудоемкости процессов, а также ограниченных возможностей в части создаваемых текстур.

Известно, что во время хранения свежесрубленной древесины берёзы при положительных температурах формируется ненормальная окраска – побурение, которое проходит вдоль волокон древесины от торцов к центру сортимента. Побурение древесины берёзы является аналогичным раневой реакции процессом и считается пороком древесины. При этом процессе заболонь древесины берёзы приобретает ярко красновато-бурый и рыжевато-бурый цвет, который быстро бледнеет на воздухе. По литературным данным, появление в древесине берёзы побурения начинается летом при уменьшении влажности древесины ниже 79% и распространяется от торца к торцу со скоростью около 30 см в месяц. Первые признаки побурения древесины при благоприятных условиях появляются через 1-2 недели после рубки дерева.

Побурение берёзы исследовали такие ученые как Вакин А.Т., Федоров Н.И., Соловьев В.А. Их мнения о причинах побурения во многом схожи. Вакин А.Т. отмечает роль окислительных процессов при побурении древесины в результате насыщения ее кислородом. Федоров Н.И. и Соловьев В.А. рассматривают побурение как комплекс нескольких реакций. Они определяются внешними факторами, прежде всего температурой окружающей среды и влажностью древесины. Сначала закупориваются проводящие пути, что приводит к замедлению испарения влаги из древесины и преграждению доступа в нее воздуха – раневая реакция. Далее, по мере уменьшения влажности древесины происходит процесс отмирания живых клеток заболони и окисления их кислородом воздуха, за счет чего образуется бурая окраска. Далее в древесине поселяются грибы и бактерии, которые приводят к дальнейшему изменению ее цвета. С.Г. Елисеев и др. (2021) [15], А.Р. Acosta (2024) [16] отмечают, что в процессе побурения резко снижается проницаемость древесины для газов и жидкостей. Такая древесина становится почти непроницаемой. Причиной снижения проницаемости при побурении, по-видимому, является

накопление в полостях клеток фибриллярного материала [17-20].

В работе В.Н. Ермолина¹ побурение древесины было предложено формировать искусственную текстуру в древесине за счет направленного изменения ее проницаемости на отдельных участках. Формирование участков с различной проницаемостью предлагалось обеспечивать за счет удаления свободной воды из сосудов на участках древесины планируемых к пропитке красителем. Проникающий в древесину кислород приводит к быстрой гибели живых паренхимных клеток древесины, и она сохраняет на этих участках свою проницаемость.

Предыдущие исследования показали принципиальную возможность использования побурения древесины для изменения ее проницаемости. Цель представленной работы – изучить процесс побурения древесины берёзы и разработать на его основе технологию управляемого избирательного окрашивания.

Материалы и методы

Работа является эмпирическим исследованием.

Объект и предмет исследований

Объектом данного исследования выступает свежесрубленная древесина берёзы. Особенностью древесины данной породы является развитие побурения, по всему сечению материала приводящее к снижению ее проницаемости. С учётом указанных особенностей предметом исследований являлась разработка технологии управляемого изменения проницаемости древесины за счет побурения для формирования искусственной текстуры при пропитке красителем.

Сбор данных

Чтобы создать непроницаемые участки древесины, было необходимо определить оптимальные режимные параметры для гарантированного и равномерного протекания побурения. Для этого были изготовлены образцы из свежесрубленной древе-

сины берёзы в виде неокоренных круглых сортиментов длиной 300 мм и диаметром 11 ± 1 см. Далее образцы помещались в контролируемые условия выдержки внутри электрического суховоздушного термостата СТ 1/80 СПУ. Образцы выдерживались в течение 15 дней при температуре равной 20, 25 и 30 °С и влажности воздуха от 90 % до 60 % (изменялась по мере высыхания образцов). Для удаления избыточной влаги внутри термостата был приоткрыт шибер, а равномерность условий обеспечивалась принудительной циркуляцией воздуха.

После 5, 10 и 15 дней выдержки образцы распиливались вдоль волокон для фиксации протекания побурения. Распространение побурения фиксировалось визуально и измерялось с использованием штангенциркуля. После этого образцы распиливались поперек волокон на полудиски каждые 5 см. Полудиски помещались в сушильный шкаф для определения влажности древесины сушильно-весовым методом. Исходная влажность древесины определялась на контрольных образцах, выпиленных из того же дерева.

Для определения изменения проницаемости при развитии побурения заготавливалась свежесрубленная древесина берёзы в виде круглых сортиментов длиной 300 мм и диаметром 11 ± 1 см. Они выдерживались в термостате в течение 15 дней при температуре 30 °С и влажности воздуха от 90 % до 60 %. После выдержки из чураков изготавливались образцы прямоугольной формы размерами $30 \times 50 \times 150$ мм (последний вдоль волокон), для определения газопроницаемости древесины вдоль волокон (рис. 3). Перед определением проницаемости образцы высушивались до влажности 10-12 %.

Измерение газопроницаемости проводилось по стандартной методике, регламентированной ГОСТ 16483.34-77. Отличительной особенностью применяемой методики являлось использование нестандартной струбицы для фиксации образцов длинной прямоугольной формы.

¹ Патент № 2773657 С1 Российская Федерация, МПК В27К 3/08. Способ локального окрашивания древесины : № 2021121274 : заявл. 16.07.2021 :

опубл. 07.06.2022 / В. Н. Ермолин, С. Г. Елисеев, А. В. Намятов, Е. В. Митина. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=48772290>

Образцы зажимались в стальной струбине с резиновыми прокладками. Боковые поверхности образцов (за исключением испытываемых) изолировались нанесением двух слоев краски ПФ-115. Испытания проводились при давлении 0,1 МПа, 0,2 МПа и 0,3 МПа. Газопроницаемость V , м³/м² вычислялась по формуле:

$$V = \frac{V_2 - V_1}{F \cdot t}, \quad (1)$$

где V_2 – конечная отметка уровня воды, м³; V_1 – начальная отметка уровня воды, м³; F – рабочая площадь поперечного сечения образца, м²; t – время изменения уровня воды, с.

Критерием оценки проницаемости испытуемой древесины являлся коэффициент газопроницаемости K , м³/с·МПа:

$$K = \frac{V \cdot h}{P}, \quad (2)$$

где V – газопроницаемость, м³/м²; h – высота образца, м; P – манометрическое давление, Мпа.

Для отработки технологии избирательного окрашивания использовались образцы свежесрубленной древесины стандартных размеров. Перед закладкой в термостат на участках древесины предназначенных к пропитке красителем осуществляли продувку образцов воздухом при помощи воздушного иньектора (рис. 1) по заранее спроектированной схеме, представленной на рис. 2. На данном этапе исследований схема продувки спроектирована с учетом диаметра образца и последующего раскроя.

В торцовую поверхность образца внедрялся иньектор. Затем через иньектор под давлением 0,6 МПа в древесину подавался воздух. Ввиду небольшой длины образцов такое значение давления продувки позволило сократить времезатраты. Продувка древесины длилась 1-2 минуты.

После продувки образцы помещались в термостат и выдерживались в нем в течение 15 дней при температуре 30 °С и влажности воздуха 75 %. Принятые значения параметров термостатирования обеспечивали интенсивность процесса побурения (испарение влаги, насыщение клеток древесины кислородом). После выдержки образцы подвергались окорке и торцовке.

Затем образцы помещались в автоклав, где при давлении 0,4 МПа пропитывались раствором кислотного красителя Совелан М в течение 60 минут. Выбор красителя был обусловлен его низкой дисперсностью (для исключения фильтрации) и хорошими окрашивающими свойствами для древесины.

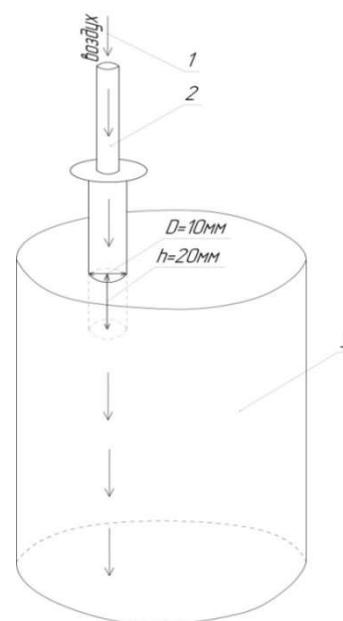


Рисунок 1. Продувка древесины воздухом: 1 – направление продувки; 2 – иньектор; 3 – образец древесины берёзы

Figure 1. Air purging of wood: 1 – purge direction; 2 – injector; 3 – birch wood sample

Источник: собственная композиция авторов
Source: author's composition

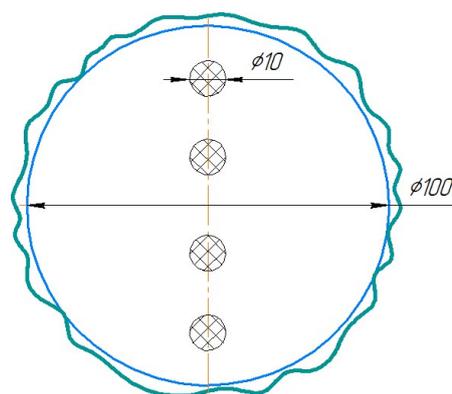


Рисунок 2. Схема продувки образцов воздухом
Figure 2. The scheme of purging samples with air

Источник: собственная композиция авторов
Source: author's composition

После пропитки образцы распиливались по заранее определенной схеме раскроя для фиксации полученной текстуры.

Обработка данных газопроницаемости древесины

Обработка полученных данных производилась с помощью инструментов Microsoft Excel и программы Statgraphics. Анализ статистических данных предусматривал расчёт следующих параметров: среднее значение, среднее квадратичное отклонение, доверительный интервал, точность опыта и коэффициент вариации.

Результаты

Исследование протекания побурения древесины в зависимости от режимных параметров выдержки позволило выявить следующее. При распиливании образцов на 5 день выдержки развитие побурения в древесине выявлено не было. Что подтверждает литературные данные о проявлении побурения через 1-2 недели. Во всех вариантах эксперимента наблюдался лишь небольшой приторцовый участок бурого цвета длиной вдоль волокон менее 5 мм (рис.3).

На десятый 10 день выдержки в термостате при вскрытии образцов было зафиксировано, что фронты побурения в древесины практически сошлись, но в центральной части образцов наблюдались участки с отсутствием побурения (рис.4).

К 15 дню выдержки в термостате вне зависимости от режимных параметров побурение наблюдалось по всей длине образцов. Однако, при температуре 30 °С и влажности воздуха 75 % образцы древесины показывали более равномерное протекание процесса по всему сечению (рис.5).

Распределение влажности древесины с побурением по длине образца произошло следующим образом: после выдержки в термостате образцы древесины имели среднюю влажность 38,9 %, в то время как исходная начальная влажность свежесрубленной древесины составляла 65 % (рис. 6).

За 15 дней выдержки влажность образцов снизилась почти в 1,7 раза. При рассмотрении послойной влажности образцов предсказуемо наиболее низкая влажность древесины наблюдалась в притор-

цовой зоне 33-35,2 %, а наиболее высокая в центральной части образца 43,0-41,5 %. Перепад влажности центральной и приторцовой части образцов составил 18-20 %.

С учетом полученных результатов для дальнейшей отработки технологии избирательного окрашивания древесины осуществлялась выдержка древесины при условиях, обеспечивающих наиболее быстрое и равномерное протекание побурения по сечению материала: 15 дней при температуре 30 °С и влажности воздуха 75 %. Подготовленная при таких параметрах следующая партия образцов исследовалась на изменение параметров газопроницаемости древесины. Результаты исследований проницаемости древесины представлены в таблице 1. Из полученных результатов следует, что развитие побурения в древесине обеспечивает 9 кратное снижение ее газопроницаемости в сравнении с контролем (рис. 7).



Рисунок 3. Побурение древесины берёзы после выдержки в термостате в течении 5 дней

Figure 3. Brown streak of birch wood after exposure in thermostat for 5 days

Источник: собственная композиция авторов
Source: author's composition

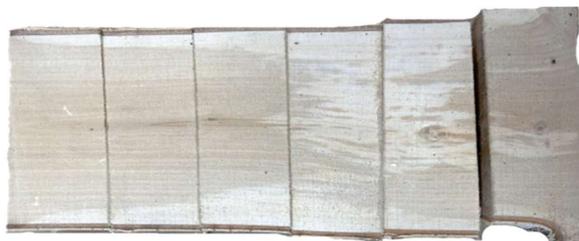


Рисунок 4. Побурение древесины берёзы после выдержки в термостате в течение 10 дней

Figure 4. Brown streak of birch wood after exposure in thermostat for 10 days

Источник: собственная композиция авторов
Source: author's composition



Рисунок 5. Побурение древесины берёзы после выдержки в термостате в течении 15 дней
Figure 5. Brown streak of birch wood after exposure in thermostat for 15 days

Источник: собственная композиция авторов
Source: author's composition



Рисунок 6. Распределение влажности вдоль чурака
Figure 6. Moisture distribution along the churak
Источник: собственная композиция авторов
Source: author's composition

Таблица 1

Показатели коэффициента газопроницаемости древесины берёзы

Table 1

Indicators of the coefficient of gas permeability of birch wood

Группа образцов Sample group	Количество испытаний образцов, шт Number of sample tests, pc	Среднее значение, м ³ /с·МПа The average value m ³ /s·MPa	Среднее квадратичное отклонение The mean square deviation	Точность опыта, % The accuracy of the experience, %	Коэффициент вариации, % Coefficient of variation, %
Древесина с побурением Brown streak wood	12	0,07 ±0,01	0,01	3,54	12,39
Здоровая древесина (контроль) Healthy wood (control)	12	0,69 ±0,09	0,06	4,34	8,80

Источник: собственные вычисления авторов
Source: own calculations

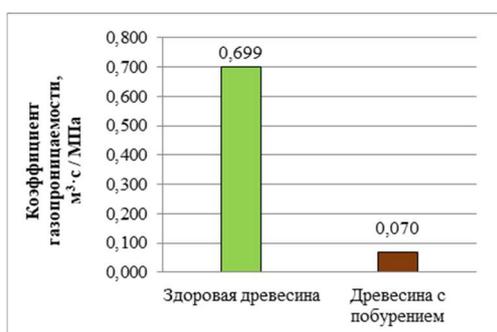


Рисунок 7. Среднее значение коэффициента газопроницаемости древесины берёзы

Figure 7. The average value of the gas permeability coefficient of birch wood

Источник: собственная композиция авторов
Source: author's composition

Опытная пропитка раствором красителя также подтвердила низкую проницаемость древесины берёзы с побурением. На рис. 8 можно увидеть границы проникновения раствора красителя в древесину. Глубина продвижения пропиточного раствора составила не более 2 мм вдоль волокон. На отдельных участках пропиточный раствор продвинулся на

глубину не более 15 мм. Предположительно это связано с неравномерным протеканием раневой реакции в приторцовой зоне.

На следующем этапе исследования изучалась возможность управляемого изменения проницаемости на отдельных участках. Для этого в соответствии методикой образцы продувались на отдельных участках термостатировались и пропитывались красителем в автоклаве. Оценка характера проникновения пропиточного раствора в образцы фиксировалась после их распиловки на доски по схеме, представленной на рис. 9. Результат опытной пропитки представлен на рис. 10.

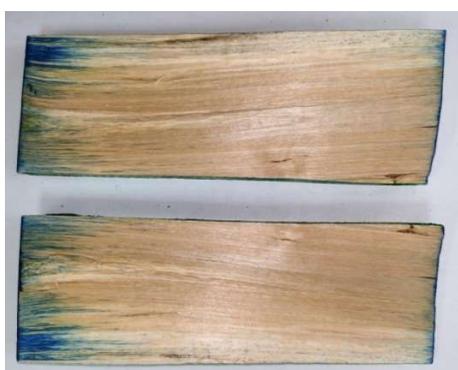


Рисунок 8. Образец древесины берёзы с побурением, пропитанный красителем

Figure 8. A sample of birch wood with browning, impregnated with a dye

Источник: собственная композиция авторов
Source: author's composition

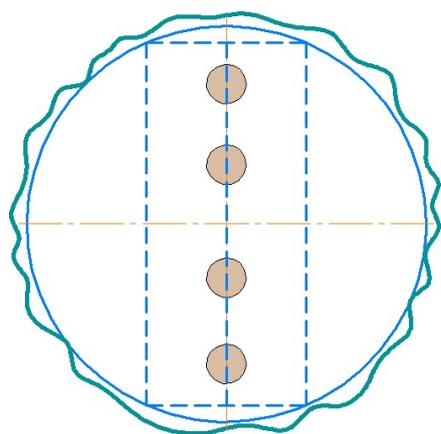


Рисунок 9. Раскрой образца после автоклавной пропитки

Figure 9. Cutting pattern of the sample after autoclave impregnation

Источник: собственная композиция авторов
Source: author's composition

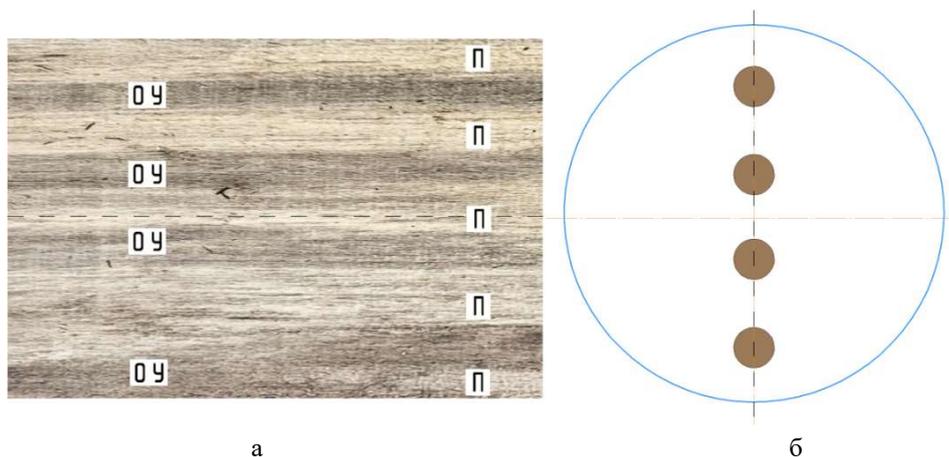


Рисунок 10. Сопоставление результата пропитки и схемы продувки проницаемых участков: а – полученная текстура древесины; б – схема продувки образца; ОУ– окрашенный участок; П – непроницаемый участок, древесина с побурением

Figure 10. Comparison of the impregnation result and the purge scheme of permeable areas: а – the resulting wood texture; б – the scheme of purging the sample; ОУ – painted area; П – impenetrable area, browned wood

Источник: собственная композиция авторов

Source: author's composition

Изучение результатов пропитки позволило выявить следующее. В участках древесины с продувкой после автоклавной пропитки наблюдается более интенсивное окрашивание древесины красителем по всей длине образца. Окрашенные участки совпадают с участками, через которые продувался воздух. Вероятной причиной сохранения проницаемости на данных участках является быстрая гибель паренхимных клеток. Поэтому при развитии побурения на этом участке не вырабатываются вещества, закупоривающие проводящие пути, а, следовательно, сохраняется проницаемость древесины. Прилегающие к подготовленным к пропитке участкам зоны образца практически не имеют следов красителя. Это говорит об эффективности применения побурения для снижения проницаемости древесины.

Обсуждение

Исходя из полученных данных, побурение значительно снижает проницаемость свежесрубленной древесины берёзы для жидкостей и газов.

В условиях эксперимента скорость продвижения побурения от торцов вдоль волокон составила около 15 см/мес. Данные результаты согласуются с литературными данными. При этом оказалось, что вариация температуры (от 20 до 30 °С) и влажности

воздуха (от 90 до 60 %) влияет не на скорость продвижения побурения, а на равномерность его протекания по длине и сечению. Вероятно, это объясняется более интенсивным снижением влажности древесины в отдельных вариантах, что приводит к быстрой гибели клеток без протекания раневой реакции и формирования побурения.

Продувка отдельных участков древесины берёзы позволяет управляемо и эффективно сохранять их проницаемость, несмотря на побурение. Что подтверждается опытными пропитками. При пропитке подготовленные продувкой участки древесины равномерно окрашиваются, а прилегающие зоны с обычным протеканием побурения остаются неокрашенными. В отличие от существующих способов формирования искусственной текстуры, разработанная технология обеспечивает высокую контрастность окрашивания, а использование элементов биотехнологии обеспечивает формирование природоподобной текстуры, что важно для изделий из натуральной древесины. Данная технология может быть успешно использована как один из методов художественной обработки древесины и создания эксклюзивных дизайнерских изделий.

Заключение

Побурение приводит к 9 кратному снижению газопроницаемости древесины берёзы и делает ее малопроницаемой для жидкостей.

Оптимальными параметрами выдержки древесины для равномерного протекания побурения являются температура 30 °С при влажности воздуха 75 %.

Удаление воды из отдельных участков древесины сохраняет их проницаемость при побурении.

Впервые установлено, что продувка воздухом обеспечивает управление проницаемостью древесины исключительно за счет предотвращения раневой реакции, что открывает новые возможности для избирательного окрашивания древесины.

Полученные результаты могут найти применение в производстве изделий, к которым применяются повышенные эстетические требования таких как, отделочные материалы, предметы интерьера, мебель и др.

Разработанный способ может быть реализован на серийно выпускающемся оборудовании и не требует значительных изменений в организации деревообрабатывающих производств.

За счет изменения формы, размеров и размещения продуваемых участков древесины, а также различных вариантов цветовых решений может быть обеспечен широкий ассортимент выпускаемых текстур.

Список литературы

1. Цой Ю.И., Блинов А.К. Декоративные свойства древесины. Тенденции развития науки и образования. – 2021. – № 71-2. – С. 35-38. DOI 10.18411/lj-03-2021-46.
2. Сохацкая Д.Г., Стужук Д.О. Древесина. Декоративные свойства и возможности применения. Региональные аспекты развития науки и образования в области архитектуры, строительства, землеустройства и кадастров в начале III тысячелетия : Материалы Международной научно-практической конференции. – 2022. – С. 103-106. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=48152615>
3. Акинина Е.В., Елисеев С.Г., Ермолин В.Н. Влияние особенностей анатомического строения древесины берёзы на ее проницаемость для жидкостей. Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. – 2024. – № 248. – С. 274-290. DOI: 10.21266/2079-4304.2024.248.274-290
4. Ruffinatto F., Negro F., Crivellaro A. The macroscopic structure of wood. *Forests*, 2023; 14 (3): 644. DOI: <https://doi.org/10.3390/f14030644>
5. Dubois H., Verkasalo E., Claessens H. Potential of birch (*Betula pendula* Roth and *B. pubescens* Ehrh.) for forestry and forest-based industry sector within the changing climatic and socio-economic context of Western Europe. *Forests*, 2020; 11 (3): 336. DOI: <https://doi.org/10.3390/f11030336>
6. Снегирева С.Н., Платонов А.Д., Паринов Д.А., Медведев И.Н., Киселева А.В. Повышение качества пропитки древесины берёзы различными способами. Лесотехнический журнал. – 2019. – Т. 9. – С. 126-133. DOI: 10.34220/issn.2222-7962/2019.4/14
7. Томина Е.В., Жужукин К.В., Дмитренко А.И., Нгуен Ань Тьен, Соловьева А.А., Дорошенко А.В., Корчагина А.Ю., Новикова Л.А. Исследование качества пропитки и структурных особенностей древесины берёзы методом микрорентгеновской компьютерной томографии. Лесотехнический журнал. – 2024. – Т. 14. – № 4(56). – С. 172-186. DOI: <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2024.4/12>
8. Елисеев С.Г., Ермолин В.Н., Дук Д.В. Применение лазерной перфорации для повышения декоративных свойств древесины пихты сибирской (*Abies sibirica*). Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. – 2023. – № 5 (395). – С. 151-163. DOI: 10.37482/0536-1036-2023-5-151-163
9. Islam M.N. et al. Multifaceted Laser Applications for Wood—A Review from Properties Analysis to Advanced Products Manufacturing. *Lasers in Manufacturing and Materials Processing*, 2023; 10 (2): 225-250. DOI: <https://doi.org/10.1007/s40516-023-00204-x>
10. Лукаш А.А. Формирование фактуры с ярко выраженной текстурой на поверхности древесины. Актуальные проблемы лесного комплекса. – 2020. – Т. 58. – С. 183-187. URL : <https://elibrary.ru/item.asp?id=44172930>

11. Шетько С.В., Игнатович Л.В., Гайдук С.С., Чуйков А.С. Применение технологии печати для имитации текстуры ценных пород древесины при производстве мебели. Труды БГТУ. Серия 1: Лесное хозяйство, природопользование и переработка возобновляемых ресурсов. – 2020. – № 2 (234). – С. 217-222. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=43937092>
12. Соколов В.Л., Звонарева П.П. Использование техники браширования древесины при изготовлении мебели и предметов интерьера. Дизайн XXI века : VI Всероссийская заочная научно-практическая интернет-конференция с международным участием. – 2022. – С. 87-89. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=49725279>
13. Цой Ю.И., Блинов А.К. Лессирующая отделка декоративных элементов из древесины цветными лакокрасочными материалами. Тенденции развития науки и образования. – 2024. – № 106-9. – С. 240-243. DOI: 10.18411/trnio-02-2024-537.
14. Тарбева Н.А., Рублева О.А. Анализ процессов декорирования и упрочнения заготовок из низколиквидной древесины для изготовления отделочных материалов. Общество. Наука. Инновации (НПК-2021) : сборник статей XXI Всероссийской научно-практической конференции. – 2021. – С. 654-660. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=46158637>
15. Елисеев С.Г., Ермолин В.Н., Намятов А.В., Митина Е.В. Проницаемость древесины *Betula pubescens* и ее изменение. Актуальные проблемы и перспективы развития лесопромышленного комплекса : Материалы IV Международной научно-практической конференции. – 2021. – С. 31-34. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=46510395>
16. Acosta A.P. et al. A review on wood permeability: influential factors and measurement technologies. Journal of the Indian Academy of Wood Science, 2024; 21 (1): 175-191. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13196-024-00335-4>
17. Morris H. et al. Using the CODIT model to explain secondary metabolites of xylem in defence systems of temperate trees against decay fungi. Annals of Botany, 2020; 125 (5): 701-720. DOI: <https://doi.org/10.1093/aob/mcz138>
18. Romeiro D. et al. As anatomical features of the xylem could influence wound healing process in trees. Revista do Instituto Florestal, 2021; 33 (2): 119-138. DOI: <https://doi.org/10.24278/2178-5031.202133201>
19. Kashyap A. et al. Blocking intruders: inducible physico-chemical barriers against plant vascular wilt pathogens. Journal of Experimental Botany, 2021; 72 (2): 184-198. DOI: <https://doi.org/10.1093/jxb/eraa444>
20. Słupianek A., Dolzblasz A., Sokołowska K. Xylem parenchyma – role and relevance in wood functioning in trees. Plants, 2021; 10 (6): 1247. DOI: <https://doi.org/10.3390/plants10061247>

References

1. TSoi I.U.I., Blinov A.K. *Dekorativnye svoistva drevesiny* [Decorative properties of wood]. Tendentsii razvitiia nauki i obrazovaniia = Trends in the development of science and education, 2021; 71 (2): 35-38. (In Russ.). DOI 10.18411/lj-03-2021-46
2. Sokhatskaia D.G., Stuzhuk D.O. *Drevesina. Dekorativnye svoistva i vozmozhnosti primeneniia* [Wood. Decorative properties and application possibilities]. Regional'nye aspekty razvitiia nauki i obrazovaniia v oblasti arkhitektury, stroitel'stva, zemleustroistva i kadastr v nachale III tysiacheletia : Materialy Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii = Regional aspects of the development of science and education in the field of architecture, construction, land management and cadastre at the beginning of the III millennium : Proceedings of the International Scientific and Practical Conference, 2022: 103-106. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=48152615>
3. Akinina E.V., Eliseev S.G., Ermolin V.N. *Vliianie osobennostei anatomicheskogo stroeniia drevesiny berezy na ee pronitsaemost' dlia zhidkosti* [The influence of the anatomical structure of birch wood on its permeability to liquids]. Izvestiia Sankt-Peterburgskoi lesotekhnicheskoi akademii = Proceedings of the St. Petersburg Forestry Academy, 2024; 248: 274-290. (In Russ.). DOI: 10.21266/2079-4304.2024.248.274-290
4. Ruffinatto F., Negro F., Crivellaro A. *The macroscopic structure of wood*. Forests, 2023; 14 (3): 644. DOI: <https://doi.org/10.3390/f14030644>
5. Dubois H., Verkasalo E., Claessens H. *Potential of birch (*Betula pendula* Roth and *B. pubescens* Ehrh.) for*

forestry and forest-based industry sector within the changing climatic and socio-economic context of Western Europe. Forests, 2020; 11 (3): 336. DOI: <https://doi.org/10.3390/f11030336>

6. Snegireva S.N., Platonov A.D., Parinov D.A., Medvedev I.N., Kiseleva A.V. *Povyshenie kachestva propitki drevesiny berezy razlichnymi sposobami* [Improving the quality of impregnation of birch wood in various ways]. Lesotekhnicheskii zhurnal = Forestry engineering magazine, 2019, 9: 126-133. (In Russ.). DOI: 10.34220/issn.2222-7962/2019.4/14

7. Tomina E.V., ZHuzhukin K.V., Dmitrenkov A.I., Nguen An' T'en, Solov'eva A.A., Do-roshenok A.V., Korchagina A.IU., Novikova L.A. *Issledovanie kachestva propitki i strukturnykh osobennostei drevesiny berezy metodom mikrorentgenovskoi komp'yuternoi tomografii* [Investigation of the quality of impregnation and structural features of birch wood species by microrentgen computed tomography]. Lesotekhnicheskii zhurnal = Forestry engineering magazine, 2024; 14 (4(56)): 172-186. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2024.4/12>

8. Eliseev S.G., Ermolin V.N., Duk D.V. *Primenenie lazernoi perforatsii dlia povysheniia dekorativnykh svoystv drevesiny pikhty sibirskoi (Abies sibirica)* [The use of laser perforation to enhance the decorative properties of Siberian fir wood (*Abies sibirica*)]. Izvestiia vysshikh uchebnykh zavedenii. Lesnoi zhurnal = News of higher educational institutions. Forest Magazine, 2023; 5 (395): 151-163. (In Russ.). DOI: 10.37482/0536-1036-2023-5-151-163

9. Islam M.N. et al. *Multifaceted Laser Applications for Wood – A Review from Properties Analysis to Advanced Products Manufacturing*. Lasers in Manufacturing and Materials Processing, 2023; 10 (2): 225-250. DOI: <https://doi.org/10.1007/s40516-023-00204-x>

10. Lukash A.A. *Formirovanie faktury s iarko vyrazhennoi teksturoi na poverkhnosti drevesiny* [Formation of a texture with a pronounced texture on the surface of wood]. Aktual. problemy lesn. Kompleksa = Actual problems of the forest complex, 2020; 58: 183-187. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=44172930>

11. SHet'ko S.V., Ignatovich L.V., Gaiduk S.S., CHuikov A.S. *Primenenie tekhnologii pechati dlia imitatsii tekstury tsennykh porod drevesiny pri proizvodstve mebeli* [The use of printing technology to simulate the texture of valuable wood species in furniture production]. Trudy BGTU. Seriya 1: Lesnoe khozyaistvo, prirodopol'zovanie i pererabotka vozobnovlyаемykh resursov = Proceedings of BSTU. Series 1: Forestry, environmental management and processing of renewable resources, 2020; 2 (234): 217-222. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=43937092>

12. Sokolov V.L., Zvonareva P.P. *Ispol'zovanie tekhniki brashirovaniia drevesiny pri izgotovlenii mebeli i predmetov inter'era* [The use of wood brushing techniques in the manufacture of furniture and interior items]. Dizain XXI veka : VI Vserossiiskaia zaochnaia nauchno-prakticheskaiia internet-konferentsiia s mezhdunarodnym uchastiem = Design of the XXI century : VI All-Russian correspondence scientific and practical Internet conference with international participation, 2022: 87-89. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=4972527>

13. TSoi IU.I., Blinov A.K. *Lessiruiushchaia otdelka dekorativnykh elementov iz drevesiny tsvetnymi lakokrashchnymi materialami* [Finishing decorative elements made of wood with colored paints and varnishes]. Tendentsii razvitiia nauki i obrazovaniia = Trends in the development of science and education, 2024; 106 (9): 240-243. (In Russ.). DOI: 10.18411/trnio-02-2024-537.

14. Tarbeeva N.A., Rubleva O.A. *Analiz protsessov dekorirovaniia i uprochneniia zagotovok iz nizkolikvidnoi drevesiny dlia izgotovleniia otdelochnykh materialov* [Analysis of the processes of decoration and hardening of blanks made of low-liquid wood for the manufacture of finishing materials]. Obshchestvo. Nauka. Innovatsii (NPK-2021) : sbornik statei XXI Vserossiiskaia nauchno-prakticheskaiia konferentsiia = Societies. Sciences'. Innovations (NPC-2021) : collection of articles of the XXI All-Russian Scientific and Practical Conference, 2021: 654-660. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=46158637>

15. Eliseev S.G., Ermolin V.N., Namiatov A.V., Mitina E.V. *Pronitsaemost' drevesiny Betula pubescens i ee izmenenie* [The permeability of *Betula pubescens* wood and its change]. Aktual'nye problemy i perspektivy razvitiia lesopromyshlennogo kompleksa : Materialy IV Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii = Current problems and prospects for the development of the timber industry : Materials of the IV International Scientific and Practical Conference, 2021: 31-34. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=46510395>

16. Acosta A.P. et al. *A review on wood permeability: influential factors and measurement technologies*. Journal of the Indian Academy of Wood Science, 2024; 21 (1): 175-191. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13196-024-00335-4>
17. Morris H. et al. *Using the CODIT model to explain secondary metabolites of xylem in defence systems of temperate trees against decay fungi*. Annals of Botany, 2020; 125 (5): 701-720. DOI: <https://doi.org/10.1093/aob/mcz138>
18. Romeiro D. et al. *As anatomical features of the xylem could influence wound healing process in trees*. Revista do Instituto Florestal, 2021; 33 (2): 119-138. DOI: <https://doi.org/10.24278/2178-5031.202133201>
19. Kashyap A. et al. *Blocking intruders: inducible physico-chemical barriers against plant vascular wilt pathogens*. Journal of Experimental Botany, 2021; 72 (2): 184-198. DOI: <https://doi.org/10.1093/jxb/eraa444>
20. Słupianek A., Dolzblasz A., Sokołowska K. *Xylem parenchyma – role and relevance in wood functioning in trees*. Plants, 2021; 10 (6): 1247. DOI: <https://doi.org/10.3390/plants10061247>

Сведения об авторах

✉ Акинина Евгения Валериевна – ассистент кафедры технологии композиционных материалов и древесиноведения, ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева», проспект им. газеты Красноярский рабочий, 31, г. Красноярск, Российская Федерация, 660037, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-5723-8883>, e-mail: eugeniya.mitina@yandex.ru.

Елисеев Сергей Геннадьевич – кандидат технических наук, директор института лесных технологий, ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева», проспект им. газеты Красноярский рабочий, 31, г. Красноярск, Российская Федерация, 660037, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-7746-0158>, e-mail: eliseevsg@sibsau.ru.

Ермолин Владимир Николаевич – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой технологии композиционных материалов и древесиноведения, ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева», проспект им. газеты Красноярский рабочий, 31, г. Красноярск, Российская Федерация, 660037, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-2113-4142>, e-mail: vnermolin@yandex.ru.

Information about the authors

✉ *Evgeniya V. Akinina* – Assistant of the Department of Technology of Composite Materials and Wood Science, Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, prospekt im. gazeta Krasnoyarsk worker, 31, Krasnoyarsk, Russian Federation, 660037, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-5723-8883>, e-mail: eugeniya.mitina@yandex.ru.

Sergey G. Eliseev – Candidate of Technical Sciences, Director of the Institute of Forest Technologies, Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, prospekt im. gazeta Krasnoyarsk worker, 31, Krasnoyarsk, Russian Federation, 660037, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-7746-0158>, e-mail: eliseevsg@sibsau.ru.

Vladimir N. Ermolin – Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Technology of Composite Materials and Wood Science, Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, prospekt im. gazeta Krasnoyarsk worker, 31, Krasnoyarsk, Russian Federation, 660037, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-2113-4142>, e-mail: vnermolin@yandex.ru.

✉ Для контактов | Corresponding author