

На правах рукописи



Акинина Евгения Валериевна

**ФОРМИРОВАНИЕ ИСКУССТВЕННОЙ ТЕКСТУРЫ ДРЕВЕСИНЫ
БЕРЕЗЫ ЗА СЧЕТ РЕГУЛИРОВАНИЯ ПРОНИЦАЕМОСТИ**

4.3.4 – Технологии, машины и оборудование для лесного хозяйства
и переработки древесины

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Красноярск – 2025

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М. Ф. Решетнева» (ФГБОУ ВО СибГУ им. М. Ф. Решетнева)

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор
Ермолин Владимир Николаевич

Официальные оппоненты:

Шамаев Владимир Александрович

доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г. Ф. Морозова», профессор кафедры древесиноведения

Плотников Николай Павлович

кандидат технических наук, доцент, ФГБОУ ВО «Братский государственный университет», доцент базовой кафедры воспроизводства и переработки лесных ресурсов

Ведущая организация:

ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет»

Защита состоится «18» декабря 2025 г. в 13:00 часов на заседании диссертационного совета 24.2.403.03, созданного на базе ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М. Ф. Решетнёва» по адресу: 660049, г. Красноярск, пр. Мира 82, Ц – 110.

Отзывы на автореферат с подписями, заверенными печатью, просим направлять по адресу: 660049, г. Красноярск, пр. Мира 82, Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М. Ф. Решетнева, ученому секретарю, e-mail: isaevaelena08@mail.ru

В отзыве указывается фамилия, имя, отчество, почтовый адрес, телефон и адрес электронной почты (при наличии), наименование организации и должность лица, представившего отзыв (п. 28 Положения о присуждении ученых степеней).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М. Ф. Решетнева» (www.sibsau.ru).

Автореферат разослан « » _____ 2025 г.

И. о. ученого секретаря
диссертационного совета:



Исаева Елена Владимировна

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Ежегодно растет спрос на изделия из натуральной древесины. При этом особый интерес представляют древесные породы с высокими физико-механическими и декоративными свойствами. Но их запасы в России ограничены. Использование более распространенных лиственных пород, таких как береза, может увеличить доступность изделий из древесины, к которым предъявляются высокие эстетические требования.

Береза является одной из основных лесообразующих лиственной породой на территории Российской Федерации. Древесина березы обладает сравнительно высокими физико-механическими свойствами и высокой проницаемостью для жидкостей и газов. К недостаткам березовой древесины относят отсутствие выразительной текстуры, что существенно ограничивает ее применение в производстве отделочных материалов, предметов интерьера и мебели.

Расширить применение березовой древесины в производстве изделий, к которым предъявляются высокие эстетические требования, можно за счет повышения ее декоративных свойств путем локальной сквозной пропитки.

Степень разработанности. Существенный вклад в области улучшения декоративных свойств древесины внесли такие ученые как Черненко С. А., Беляев Е. Ю., Шамаев В. А., Трубников Н. А., Шетько С. В., Игнатович Л. В., Гайдук С. С., Чуйков А. С. Изучением проницаемости древесины занимались: Харук Н. А., Оснач Н. А., Соловьев В. А., Леонович О. К., Ермолин В. Н.

Процессы, связанные с образованием раневой реакции и побурения, а также их влияние на древесину березы исследовали: Ванин С. И., Алексеева Л. Г., Вакин А. Т., Полубояринов О. И., Соловьев В. А., Чураков Б. П., Чураков Д. Б., Федорова Н. И., Pearce R.B., Rutherford J., Pearce R. B., Holloway P. J., Bigg A. R., Pearce R. B., Schmitt U., Liese W., Hörnfeldt R., Drouin M., Woxblom L., Koran Z., Yang K. C., Shigo A. L., Hillis W. E., Bauch J.

Особенности анатомического строения древесины березы рассмотрены в трудах: Яценко-Хмелевского А. А., Вихрова В. Е., Амосовой И. Б., Феклистова П. А., Luostarinen K., Hakkarainen K., Kaksonen H., Ветчинниковой Л. В., Титова А. Ф.

Цель исследования. Разработать технологию формирования искусственной текстуры древесины березы за счет контролируемого изменения локальной проницаемости.

Задачи исследования:

- выявить возможность формирования искусственной текстуры древесины березы;
- определить механизм регулирования проницаемости древесины березы;
- разработать режим формирования побурения круглого сортимента древесины березы: показатели влажности и температуры воздуха, продолжительность выдержки;
- определить газопроницаемость древесины березы с побурением;

- изучить микроскопическое строение древесины березы, определяющее ее проницаемость для жидкостей и газов;
- определить влияние грибов на свойства побуревшей древесины;
- выявить причины различной проницаемости древесины по ширине годичного слоя;
- провести оценку технико-экономической эффективности производства материала из древесины березы с повышенными декоративными свойствами.

Научная новизна работы:

1. Впервые определен механизм регулирования проницаемости в проводящей системе древесины березы в процессе раневой реакции, обусловленный перекрытием перфораций сосудов фибриллярным материалом в результате действия капиллярных сил при снижении влажности;
2. Впервые разработан способ локального изменения проницаемости сосудов древесины березы для жидкостей, за счет удаления свободной влаги из полостей клеток и заполнения их воздухом;
3. Впервые разработан способ локального окрашивания древесины березы за счет контролируемого изменения локальной проницаемости при процессах раневой реакции (патент РФ № 2773657 С1).

Теоретическая и практическая значимость работы

Теоретическая значимость работы:

1. Определен механизм снижения проницаемости древесины березы в результате раневой реакции.
2. Предложен способ обеспечения локальной проницаемости древесины для жидкостей в процессе раневой реакции, исключающий формирование фибриллярного слоя на лестничных перфорациях.

Практическая значимость работы заключается в том, что на основании теоретических исследований в связи с механизмом снижения проницаемости древесины березы и способа, обеспечивающего локальную проницаемость для жидкостей в процессе раневой реакции, разработана технология, позволяющая получить древесину березы с выраженной текстурой в результате пропитки окрашивающими растворами. Данная древесина может использоваться для изготовления изделий с высокими декоративными свойствами.

Результаты исследований включены в план развития предприятия ООО «СИБЦИТ» (г. Красноярск).

Объектом исследования является процесс проницаемости древесины.

Предмет исследования: регулирование локального изменения проницаемости древесины березы за счет раневой реакции.

Методология и методы исследования включали комплексный экспериментальный подход с использованием стандартизированных методик для определения физико-механических свойств древесины, микроскопического анализа её структуры и молекулярно-генетической идентификации биологических агентов. Планирование и обработка экспериментальных данных проводилась с использованием теории планирования, а также программ STATGRAPHICS Centurion – 19.7.01 и Microsoft Excel.

Научные положения, выносимые на защиту:

1. Механизм снижения проницаемости древесины березы, заключающийся в переносе и когезии фибриллярных единиц на лестничные перфорации сосудов, под действием капиллярных сил;
2. Причины различной проводимости древесины для жидкостей по ширине годичного слоя, обусловленные разницей размерных характеристик пор волокнистых трахеид;
3. Способ обеспечения локальной проницаемости древесины березы за счет продувки воздухом;
4. Результаты экспериментальных исследований по направленному изменению проницаемости древесины березы за счет локальной продувки воздухом, определение параметров выдержки, обеспечивающих процесс раневой реакции, и физико-механические показатели.

Соответствие паспорту специальности. Представленная работа соответствует паспорту специальности 4.3.4 – «Технологии, машины и оборудование для лесного хозяйства и переработки древесины» (п. 4 – Технология и продукция в производствах: лесохозяйственном, лесозаготовительном, лесопильном, деревообрабатывающем, целлюлозно-бумажном, лесохимическом и сопутствующих им производствах).

Личный вклад соискателя. Автор непосредственно занималась поиском и анализом литературных данных по формированию искусственной текстуры древесины березы, теоретическим исследованием механизма проницаемости древесины березы, постановкой и проведением экспериментальных исследований, обработкой полученных результатов и формулированием выводов.

Степень достоверности и апробация результатов

Достоверность полученных результатов обеспечена многократным повторением экспериментов, применением методов статистической обработки измерений. Результаты работы докладывались на международных и всероссийских конференциях: «Актуальные проблемы и перспективы развития лесопромышленного комплекса» (Кострома, 2021), «Лесной и химический комплексы – проблемы и решения» (Красноярск, 2021; 2022), «Молодые ученые в решении актуальных проблем науки» (Красноярск, 2022; 2023), «Решетневские чтения» (Красноярск, 2023).

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).

Публикации. По материалам диссертации опубликовано 8 работ, в том числе 2 статьи в изданиях, рекомендованных ВАК, а также получен патент Российской Федерации на изобретение № 2773657 С1.

Структура и объем диссертации. Диссертация изложена на 137 страницах машинописного текста, содержит 17 таблиц и 66 рисунков. Работа

состоит из введения, 6 глав, заключения, списка литературы, включающего 160 ссылок на отечественные и зарубежные работы, и трех приложений.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении дана общая характеристика работы, обоснована актуальность работы по исследованию возможности разработки технологии управляемого изменения проницаемости древесины березы за счет раневой реакции в целях формирования искусственной текстуры.

Глава 1. Состояние вопроса. В первой главе проанализирована отечественная и зарубежная научная и техническая литература по повышению декоративных свойств древесины, проницаемости и причинам ее снижения, анатомическому строению древесины березы.

Существующие способы повышения декоративных свойств древесины, несмотря на свое разнообразие, имеют недостатки, которые ограничивают их применение. Большинство способов предполагают добиться неоднородной текстуры древесины за счет неравномерного окрашивания ее волокон. У рассеяннo-сосудистых пород эта неоднородность менее выражена из-за особенностей строения древесины. Искусственно создать неоднородную текстуру на всю толщину деревянных заготовок возможно за счет локального окрашивания участков древесины.

Поверхностное окрашивание материала не обеспечивает нужного результата, так как красящий состав проникает в древесину неглубоко. Это затрудняет дальнейшую механическую обработку древесины, а в процессе эксплуатации изделия, как правило, наблюдается частичное или полное удаление покрытия. Наиболее эффективным методом является автоклавная пропитка, которая обеспечивает глубокое и равномерное окрашивание древесины по всей длине. При этом неоднородность окрашивания можно создавать, изменяя проницаемость древесины за счет формирования в древесине побурения.

Побурение древесины представляет собой комплекс процессов, в том числе приводящих к закупорке водопроводящих путей, что приводит к замедлению испарения влаги из древесины и ограничивает доступ в нее воздуха (раневая реакция живых клеток).

Анализ исследований проницаемости древесины с побурением показывает, что основной объем научных работ приходится на период 50-80-х годов прошлого века, а современные исследования часто ограничены узкими аспектами, направленными на изучение биологических особенностей протекающих процессов.

Поэтому для изучения возможности применения побурения в технологических процессах требуется проведение дополнительных исследований.

Глава 2. Основы регулирования проницаемости древесины березы для жидкостей и газов. Во второй главе представлено теоретическое обоснование способа регулирования проницаемости древесины березы путем управления раневой реакцией.

Предполагается, что формирование непроницаемых участков древесины, возможно осуществить за счет процесса раневой реакции. В то время как на участках, предназначенных для последующей пропитки красителем, нужно предотвратить протекание раневой реакции путем локального удаления свободной влаги. В главе рассмотрены основные особенности раневой реакции, и изменения, происходящие в древесине после ее появления.

Во время защитной, раневой реакции древесины на изменение в ней водно-газового режима, живые клетки, представленные лучевой паренхимой, образуют фибриллярный материал, который накапливаясь, выдавливается через мембрану поры в полость смежных сосудов, тем самым блокируя их. За счет перемещения с водой, под действием капиллярных сил, фибриллярный материал локализуется на лестничных перфорациях в виде мембранного слоя.

Оседание структурированного фибриллярного материала объясняется тем, что радиус полости сосуда превосходит радиус менисков, образующихся между перекладинами лестничной перфорации при соприкосновении двух сред (жидкость-газ) (рисунок 1).

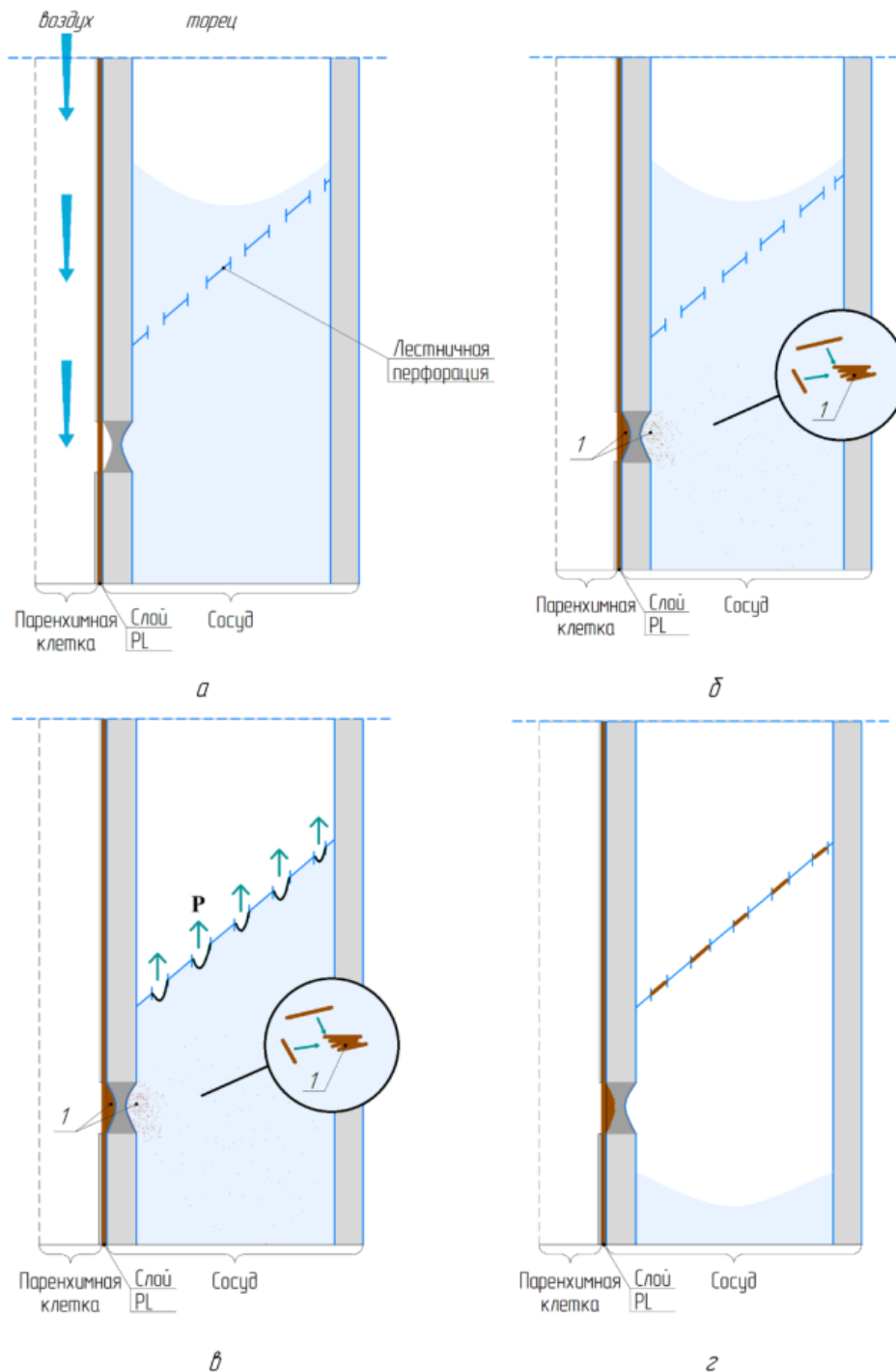
Структурирование фибриллярных единиц в виде единого слоя, обусловлено тем, что вода, взаимодействуя с фибриллярными единицами, образует с ними единую структуру, и процесс свободного перемещения единиц становится невозможным. Между тонкими слоями воды и фибриллярными единицами существуют связи. Вода и фибриллярный материал подвержены действию сил молекулярного сцепления и прилипания.

В связи с закупоркой перфорационных пластинок сосудов фибриллярным материалом, снижается пропускная способность древесины на этих участках проводящей системы. Данную реакцию древесины можно использовать для управляемого изменения проницаемости древесины березы.

Исключение отдельных участков древесины из процессов раневой реакции было решено обеспечить с помощью локального удаления свободной влаги за счет продувки древесины воздухом.

Была выдвинута гипотеза, что продувка древесины сжатым воздухом вдоль волокон приводит к вытеснению свободной влаги из полостей клеток проводящей системы по всей длине сортимента без существенного поперечного перераспределения в смежные элементы. При этом было установлено, что на локальных участках древесины с малой влажностью процесс раневой реакции не может протекать в полной мере.

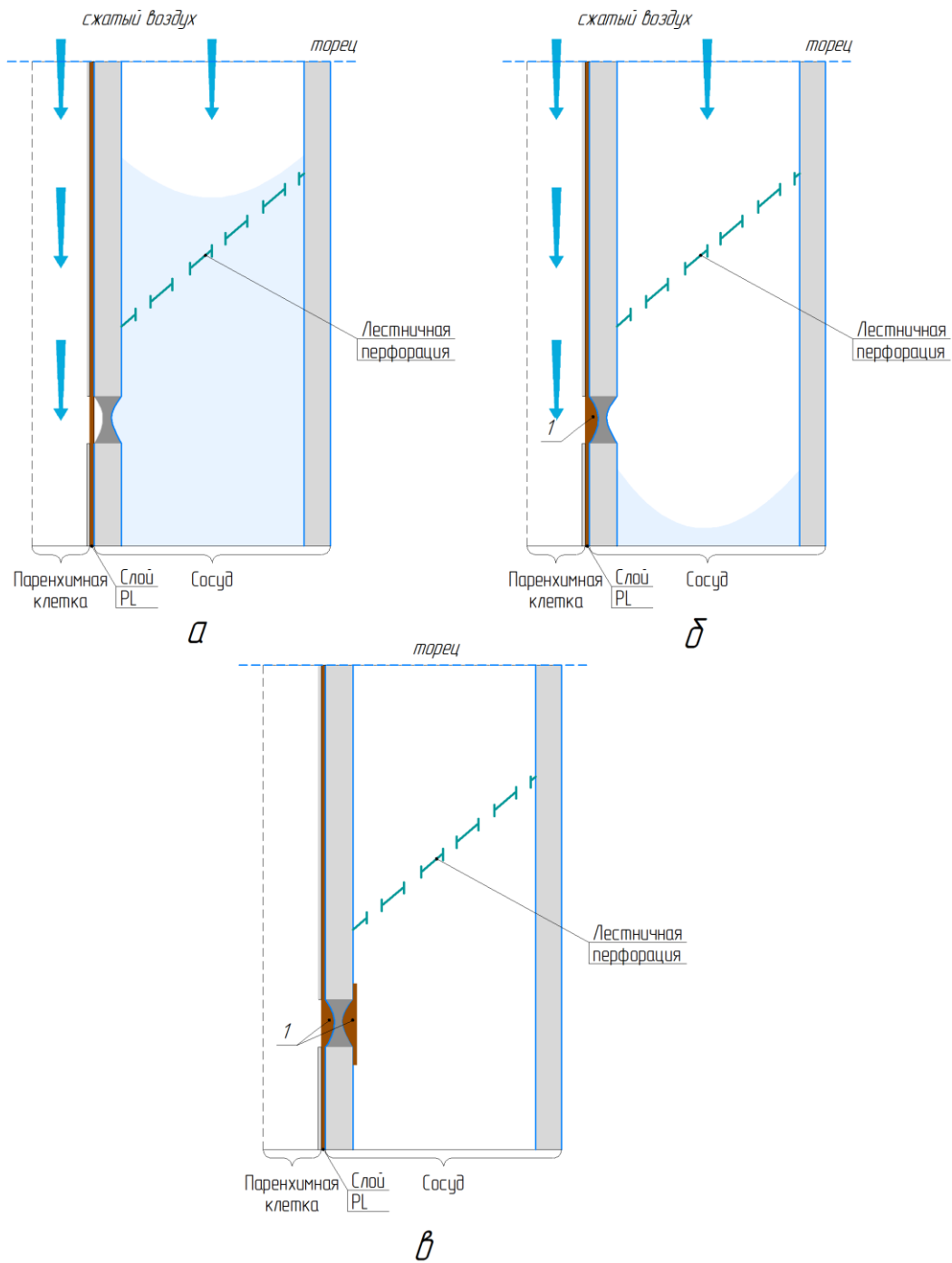
Воздействие избыточного газового давления вдоль волокон в локальных участках сортимента позволяет уменьшить в системе капилляров объем влаги, место которого занимает воздух. Во время локального воздействия воздухом свободная влага в проводящих элементах незначительно перераспределяется в полости смежных клеток и выходит с противоположного торца сортимента. Полости сосудов, высвобождаясь от влаги, заполняются воздухом с содержанием кислорода.



а) снижение влажности при нарушении водно-газового режима; б) формирование фибриллярного материала между защитным слоем PL и сосудом, экструзия в полость сосуда (1 – фибриллярный материал); в) образование микроменисков между перекадинами перфорации (P – капиллярное давление); г) перекрытие фибриллярным материалом просветов лестничной перфорации

Рисунок 1 – Механизм переноса фибриллярного материала на перфорации сосудов

В результате на этих участках перенос фибриллярного материала на лестничные перфорации не происходит. Фибриллярный материал остается на клеточной стенке вблизи поры, а полости сосуда остаются свободными, что позволяет производить пропитку окрашивающими растворами (рисунок 2).



а) вытеснение влаги из полости сосуда воздухом; б) формирование фибриллярного материала между защитным слоем PL и сосудом (1 – фибриллярный материал); в) полость сосуда заполнена воздухом, и экструдированный фибриллярный материал остается на стенке сосуда

Рисунок 2 – Механизм сохранения локальной проницаемости древесины в процессе раневой реакции

Глава 3. Материалы и методы экспериментальных исследований. В третьей главе дается характеристика используемого материала и приводится описание методик проведения экспериментов.

Глава 4. Результаты экспериментальных исследований. В четвертой главе приведены результаты исследований по определению параметров

выдержки древесины березы для формирования непроницаемых участков с помощью побурения. Также изучено влияние побурения на физические и механические показатели древесины, проведены микроскопические исследования состояния проводящих элементов древесины с побурением, определен видовой состав грибов в древесине с побурением, и исследована возможность создания локально проницаемых участков в древесине березы с побурением.

В ходе исследования были установлены параметры выдержки для равномерного формирования побурения в древесине березы: вариация температуры от 20 до 30 °С и влажность воздуха от 90 до 60 %.

Для учета изменения протекания побурения в древесине исследовалась ее газопроницаемость. Развитие побурения в древесине обеспечивает девятикратное снижение ее газопроницаемости в отличие от участков древесины без побурения (рисунок 3). Опытные пропитки также показали, что для окрашивающих растворов побуревшая древесина становится практически непроницаемой.

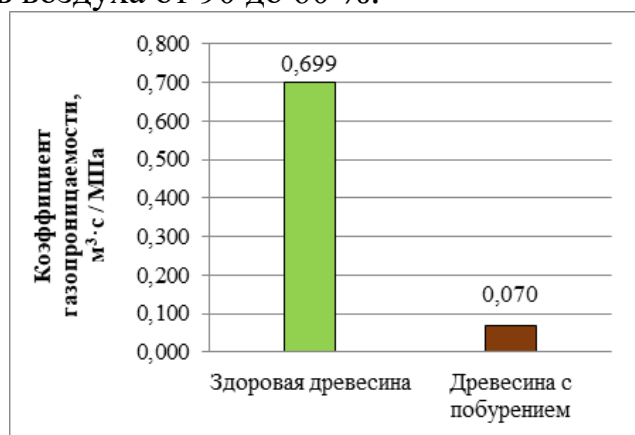


Рисунок 3 – Коэффициент газопроницаемости древесины березы

В результате анализа литературных данных установлено, что побурение древесины приводит к ухудшению её физико-механических показателей. В связи с этим было проведено исследование свойств древесины с побурением. Исследование механических свойств показало, что побурение древесины приводит к незначительному снижению её механических характеристик. Так значение предела прочности при сжатии вдоль волокон древесины с побурением составило 59,39 МПа, что всего на 2 % ниже (в пределах точности опыта) значения предела прочности здоровой древесины (контроль) (рисунок 4). Значение предела прочности при статическом изгибе – 70,30 МПа (рисунок 5), а значение ударной вязкости – 7,38 Дж/см², что на 11 % ниже контроля (рисунок 6).

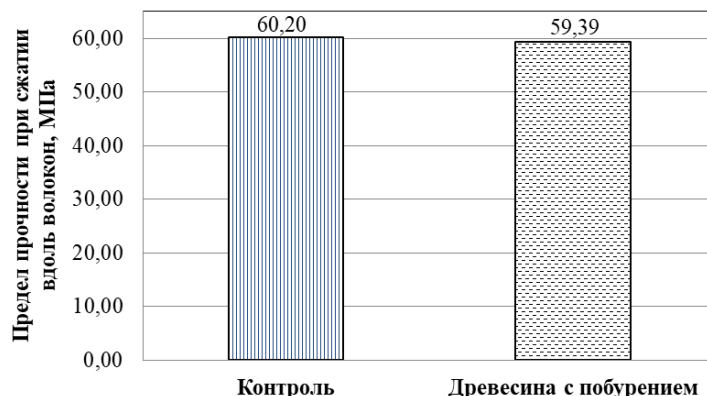


Рисунок 4 – Значение предела прочности при сжатии образцов вдоль волокон

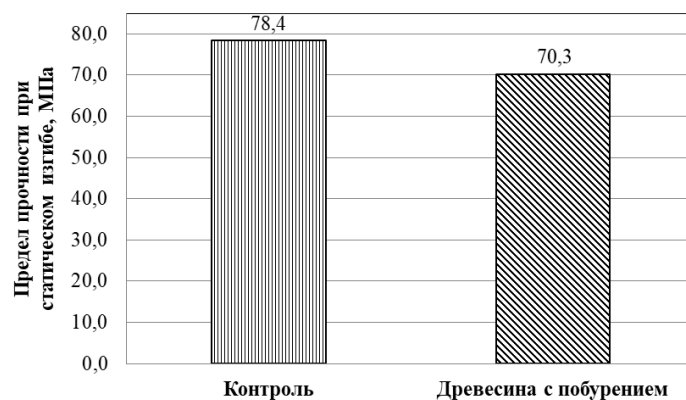


Рисунок 5 – Значение предела прочности при статическом изгибе



Рисунок 6 – Значение ударной вязкости при изгибе

В ходе исследований при сквозной пропитке березовой древесины обнаружена неравномерная локализация пропиточного состава по ширине годичного слоя. Для выявления причин неравномерного распределения пропиточного раствора изучались особенности анатомического строения древесины березы. Установлено, что трахеиды, располагающиеся в «поздней» зоне годичного слоя, имеют в сравнении с «ранней» большие показатели по размерам полостей клеток (почти на 26 %), по толщине клеточных стенок (на 47 %) и по ширине пор (на 11,1 %). По высоте пор больший показатель имеют волокнистые трахеиды «ранней» зоны годичного слоя (почти на 27,5 %). Неравномерное распределение пропиточного раствора по ширине годичного слоя, наблюдаемое при окрашивании древесины березы красителем, по-видимому, является следствием отфильтровывания окрашивающих веществ, обусловленного различием ширины пор волокнистых трахеид в «ранней» и «поздней» зоне годичного слоя.

Микроскопические исследования древесины с побурением подтвердили выдвинутую гипотезу о причине снижения проницаемости. Обнаруженный на лестничных перфорациях члеников сосудов древесины березы с побурением фибриллярный слой (рисунок 7), является одной из главных причин снижения проницаемости такой древесины.

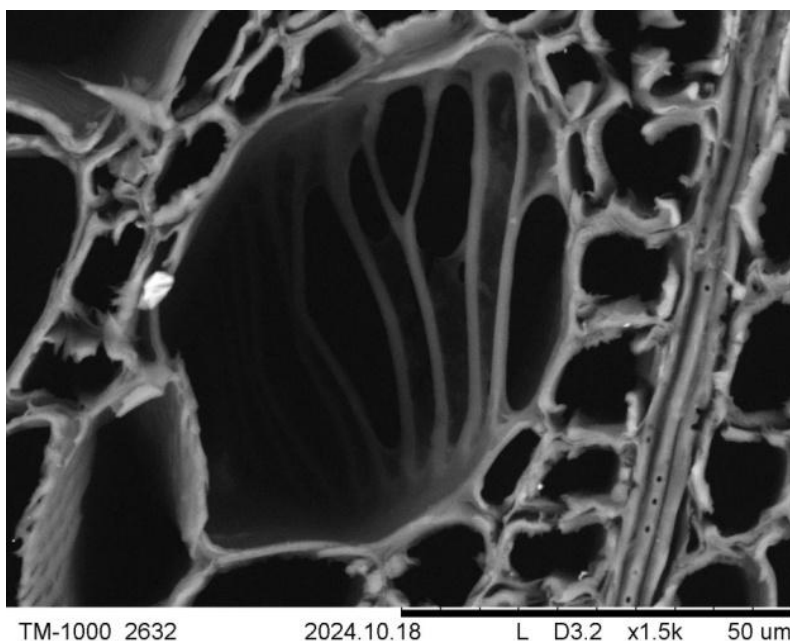


Рисунок 7 – Лестничная перфорация сосуда древесины березы с побурением (Ув. 1.0k×)

На снимках образцов древесины, взятых из участков, предварительно продутых воздухом, лестничные перфорации и полости сосудов не имели каких-либо изменений (рисунок 8). Раневая реакция на данных участках древесины протекала не в полной мере без формирования фибриллярного слоя на лестничных перфорациях.

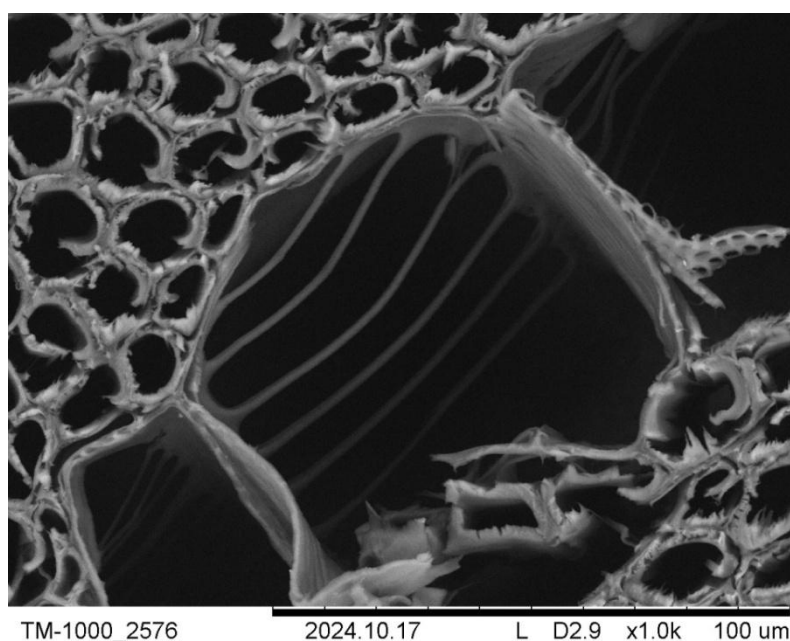


Рисунок 8 – Лестничная перфорация древесины березы без побурения (Ув. 1.0k×)

Одним из факторов, влияющих на развитие побурения древесины березы, является присутствие в ней биологических агентов. В процессе раневой реакции, согласно литературным данным, в древесине могут распространяться плесневые и деревоокрашивающие грибы.

Для установления доминирующих видов грибов, участвующих в процессе, был проведен комплексный молекулярно-генетический анализ с применением секвенирования и видоспецифической полимеразной цепной реакции (ПЦР). Анализ показал наличие грибов рода *Ganoderma* и *Inonotus* и *Phellinus* как в древесине с побурением, так и в здоровой древесине. Данное исследование свидетельствует о том, что инфицирование дерево-разрушающими грибами происходит еще в растущем дереве, а в срубленной древесине формируются условия благоприятные для их развития.

В процессе разработки технологии формирования искусственной текстуры исследованы режимные параметры локальной продувки древесины. Была получена зависимость продолжительности продувки древесины березы от величины давления и длины сортимента. Результат регрессионного анализа показал, что на процесс продувки древесины сжатым воздухом существенную роль оказывает длина заготовленного сортимента.

$$Y_1 = 20,87 - 4,17 \cdot X_1 + 7,31 \cdot X_2 - 0,56 \cdot X_1^2 - 0,88 \cdot X_1 \cdot X_2 + 3,78 \cdot X_2^2$$

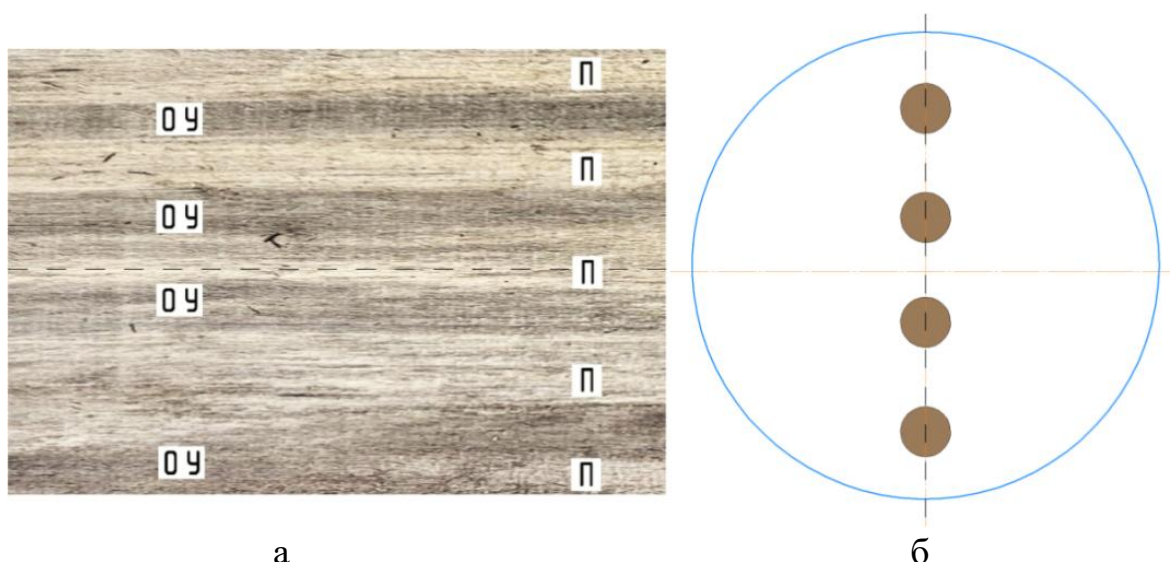
Для разработки технологии избирательного окрашивания древесины были проведены исследования, направленные на создание локальных проницаемых участков. Для этого с помощью иньектора древесина подвергалась воздействию сжатого воздуха на отдельных участках, запланированных к пропитке, выдерживалась в заданных условиях, а затем пропитывалась красителем в автоклаве. В участках, подготовленных продувкой воздухом, после автоклавной пропитки наблюдается более интенсивное окрашивание древесины красителем по всей длине образца. Окрашенные участки совпадают с участками, через которые продувался воздух (рисунок 9).



Рисунок 9 – Образец древесины с локальным проницаемым участком

Прилегающие к подготовленным к пропитке участкам зоны образца практически не имеют следов красителя. Это говорит об эффективности применения побурения для снижения проницаемости древесины.

В ходе исследований была подтверждена возможность разработки технологии формирования искусственной текстуры древесины путем создания проницаемых и непроницаемых участков (рисунок 10).



а – полученная текстура древесины; б – схема продувки образца; ОУ – окрашенный участок; П – непроницаемый участок, древесина с побурением

Рисунок 10 – Результат пропитки и схема продувки проницаемых участков

Глава 5. Технология формирования искусственной текстуры древесины березы. В пятой главе разработана технология формирования искусственной текстуры древесины березы. Представлены требования к сырью и условия хранения.

Описание технологического процесса. Отсортированная после заготовки древесина березы в виде неокоренных круглых лесоматериалов торцуется на торцовочном станке и распиливается на линиях автоматической раскряжёвки с дисковыми пилами на кряжи длиной 1,5-2 м.

Далее, в целях формирования локальных проницаемых и непроницаемых участков кряжи подвергаются специальной подготовке, включающей локальное удаление свободной влаги и выдержку в течение 50-100 дней (в зависимости от длины кряжа) при положительных температурах.

Удаление свободной влаги из отдельных участков сортимента производится по заранее спроектированной схеме при помощи револьверной системы с зафиксированными инжекторами, подключенной к воздушному компрессору. Инжекторы с диаметром отверстия 10 мм внедряются в торцовую поверхность сортимента на глубину 20-30 мм, затем через инжекторы под давлением до 0,6 МПа в древесину подается воздух.

Под действием избыточного давления происходит вытеснение воды из полостей сообщающихся между собой сосудов в сторону противоположного торца и ее локальное удаление из сортимента. Такая продувка древесины воздухом осуществляется до момента прекращения выхода влаги из противоположного торца сортимента. Удаление воды из сосудов и заполнение их воздухом, приводит к нарушению механизма переноса фибриллярного материала во время раневой реакции. Это исключает возможность снижения проницаемости для жидкостей на этих участках.

После проведения процедуры локального удаления воды сортименты выдерживают в контролируемых условиях при температуре 23-25 °С и относительной влажности воздуха от 90 % до 60 % в течение 50-100 дней в зависимости от длины (с увеличением размеров сортимента увеличивается продолжительность выдержки древесины). В процессе выдержки, на участках древесины, в которых не проводилась продувка воздухом, развиваются процессы раневой реакции. В результате, эти участки становятся непроницаемыми для жидкостей и газов.

Необходимо учитывать, что после процесса побурения начинается следующая стадия биодеструкции древесины, поэтому важно соблюдать технологический режим и контролировать время выдержки древесины. После выдержки сортименты сначала распиливают на брусья на ленточнопильном станке, а затем на пиломатериалы требуемого сечения с учетом ориентации подготовленных локальных проницаемых участков с припусками на дальнейшую обработку.

Для стерилизации древесины и предотвращения ее дальнейшей биодеструкции полученный пиломатериал высушивают в сушильной камере с конвективным типом нагрева при мягких режимах, регламентируемых по ГОСТ 19773-84 «Пиломатериалы хвойных и лиственных пород. Режимы сушки в камерах периодического действия».

Затем высушенные пиломатериалы до (30 ± 5) % пропитывают водными растворами кислотных красителей. Пропитку производят в автоклавной установке по способу полного поглощения («вакуум – давление – вакуум»).

После пропитки пиломатериалы перемещают в сушильную камеру, где их высушивают до эксплуатационной влажности.

Для проявления текстуры и приведения к заданным размерам, пиломатериалы проходят обработку в четырехстороннем продольно-фрезерном станке и торцуются. После этого полученная продукция укладывается в транспортные пакеты и упаковывается.

Схема технологического процесса получения пиломатериалов из древесины березы с повышенными декоративными свойствами представлена на рисунке 11.

Глава 6. Техничко-экономическое обоснование эффективности. В шестой главе приведено технико-экономическое обоснование эффективности производства березовых пиломатериалов с повышенными декоративными свойствами. Стоимость производства продукции по предложенной технологии составляет 31667,48 руб./м³, что ниже стоимости пиломатериалов из дуба, рыночная стоимость которых начинается от 60 тыс. руб./м³. Это создает ценовое преимущество в размере более 28 тыс. руб./м³.

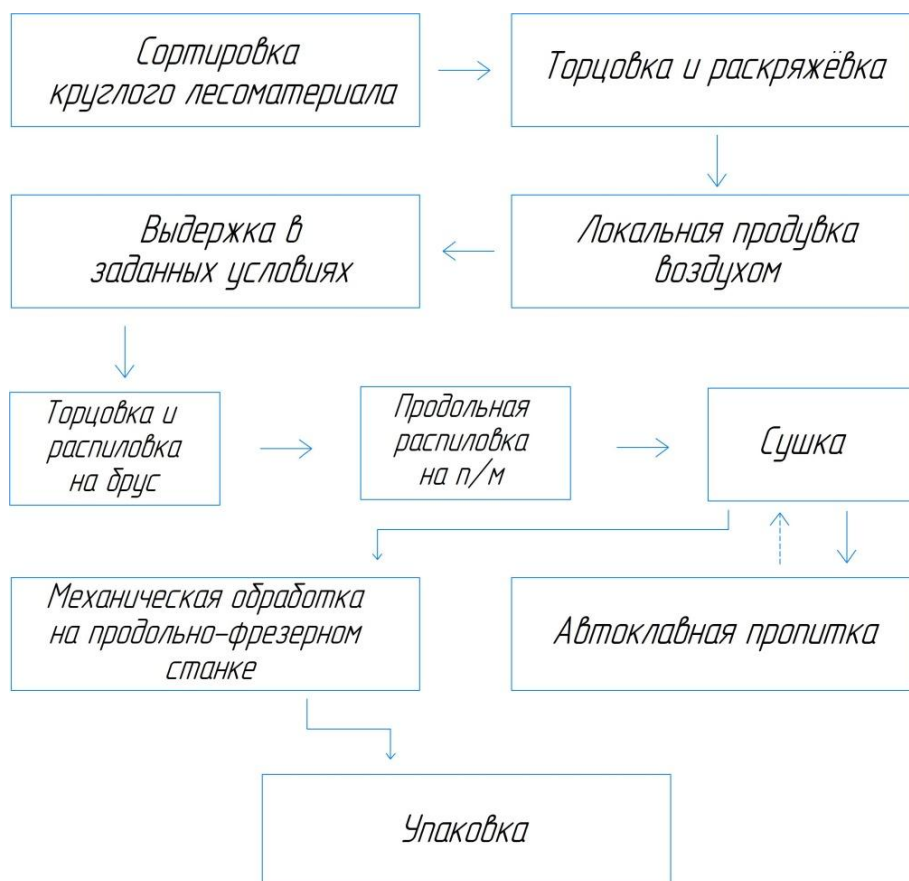


Рисунок 11 – Технологическая схема получения древесины с искусственной текстурой

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Разработана технология формирования искусственной текстуры древесины березы путем создания локальных проницаемых и непроницаемых участков за счет раневой реакции с разработкой требований к сырью и условий его хранения.

2. Предложен механизм регулирования проницаемости за счет продувки древесины воздухом;

3. Разработан режим формирования побурения круглых сортиментов древесины березы: температура воздуха от 20 °С до 30 °С, относительная влажность воздуха от 90 % до 60 %.

4. При побурении древесины газопроницаемость снижается в 9 раз по сравнению с древесиной не побуревшей. Для окрашивающих растворов такая древесина становится непроницаемой.

5. Микроскопические исследования выявили, что снижение проницаемости древесины березы с побурением обусловлено перекрытием лестничных перфораций сосудов фибриллярным материалом.

6. Побурение древесины березы вызывает незначительное снижение её механических характеристик. Снижение значения предела прочности при сжатии вдоль волокон составило 2 %, а значения предела прочности при изгибе

и ударной вязкости 11 %. Выявленные методом секвинирования в побуревшей древесине грибы, не оказывают существенного влияния на физические и механические свойства.

7. Выявлено более интенсивное окрашивание «поздней» зоны годичного слоя, по сравнению с «ранней», обусловленное большими размерами пор волокнистых трахеид в «поздней» зоне годичного слоя по сравнению с «ранней». Это подтверждается результатами микроскопических исследований размерных характеристик.

8. Экономическая эффективность производства пиломатериалов из древесины березы с повышенными декоративными свойствами выявило преимущество данного материала по сравнению с древесиной ценных пород. Сравнительный анализ цены производства показал, что стоимость одного кубического метра полученного пиломатериала составляет 31667,48 рублей. В среднем, это на 47 % меньше стоимости пиломатериалов из ценной породы древесины, такой как дуб. Таким образом, разработанная технология улучшения декоративных свойств древесины березы демонстрирует целесообразность и перспективность ее применения в деревообрабатывающей промышленности.

Основные результаты диссертации изложены в следующих публикациях:

Статьи в научных журналах, рекомендованных перечнем ВАК РФ

1. **Акинина, Е. В.** Технология формирования текстуры древесины с помощью направленного изменения ее проницаемости / Е. В. Акинина, С. Г. Елисеев, В. Н. Ермолин // Лесотехнический журнал. – 2025. – Т. 15, № 1(57). – С. 59-71 (автора 0,26 п.л.).

2. **Акинина, Е. В.** Влияние особенностей анатомического строения древесины березы на ее проницаемость для жидкостей / Е. В. Акинина, С. Г. Елисеев, В. Н. Ермолин // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. – 2024. – № 248. – С. 274-290. – DOI 10.21266/2079-4304.2024.248.274-290 (автора 0,35 п.л.).

Патенты:

3. 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**; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева» (автора 0,10 п.л.).

В других научных изданиях:

4. Исследование особенностей анатомического строения волокнистых трахеид берёзы / **Е. В. Акинина**, Д. В. Дук, С. Г. Елисеев, В. Н. Ермолин // Лесной и химический комплексы - проблемы и решения : сб. материалов Всерос. науч.-практ. конф. – Красноярск : СибГУ им. Решетнева, 2023. – С. 156-158 (автора 0,10 п.л.).

5. Особенности развития побурения в древесине берёзы / **Е. В. Акинина**, Д. В. Дук, С. Г. Елисеев, В. Н. Ермолин // Молодые ученые в решении актуальных проблем науки : сб. материалов Всерос. науч.-практ. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых (с междунар. участием). – Красноярск : СибГУ им. Решетнева, 2023. – С. 334-337 (автора 0,12 п.л.).

6. Исследование способов изменения проницаемости древесины березы / **Е. В. Акинина**, Д. В. Дук, С. Г. Елисеев, В. Н. Ермолин // Решетневские чтения: материалы XXVII Междунар. науч.-практ. конф., посвященной памяти генерального конструктора ракетно-космических систем академика М.Ф. Решетнева. –Красноярск : СибГУ им. Решетнева, 2023. – Ч. 1 – С. 774-776 (автора 0,10 п.л.).

7. **Митина, Е. В.** Влияние анатомического строения древесины березы на ее глубокое окрашивание / Е. В. Митина, Д. В. Дук // Молодые ученые в решении актуальных проблем науки : сб. материалов Всерос. науч.-практ. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых (с междунар. участием). – Красноярск : СибГУ им. Решетнева, 2022. – С. 312-315 (автора 0,12 п.л.).

8. Проницаемость древесины *Betula pubescens* и ее изменение / С. Г. Елисеев, В. Н. Ермолин, А. В. Намятов, **Е. В. Митина** // Актуальные проблемы и перспективы развития лесопромышленного комплекса : материалы IV Междунар. науч.-практ. конф., – Кострома : Костромской госуд. ун-т, 2021. – С. 31-34 (автора 0,12 п.л.).

Подписано в печать _____
*Формат 60*84/16. Усл. печ. л. 1. Тираж 100 экз. Заказ №* _____
Отпечатано в редакционно-издательском центре
СибГУ им. М.Ф. Решетнева
660049, г. Красноярск, пр. Мира, 82
тел. (391)222-73-28