

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Сибирский государственный университет науки и технологий имени
академика М.Ф.Решетнева»

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

Диссертация на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научный руководитель:
д-р техн. наук, профессор
Ермолин В. Н.

Красноярск – 2025

Оглавление

ВВЕДЕНИЕ.....	5
ГЛАВА 1. СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА.....	11
1.1 Декоративные свойства древесины.....	11
1.2 Способы повышения декоративных свойств древесины.....	12
1.3 Проницаемость древесины и причины ее снижения.....	17
1.3.1 Проницаемость древесины березы.....	21
1.3.2 Причины снижения проницаемости древесины.....	22
1.4 Строение древесины березы	28
1.4.1 Макроскопическое строение древесины березы.....	28
1.4.2 Микроскопическое строение древесины березы.....	29
1.5 Выводы к первой главе.....	31
ГЛАВА 2. ОСНОВЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ ПРОНИЦАЕМОСТИ ДРЕВЕСИНЫ БЕРЕЗЫ ДЛЯ ЖИДКОСТЕЙ И ГАЗОВ.....	32
2.1 Изменения в проводящей системе древесины березы в процессе раневой реакции.....	33
2.2 Регулирование локальной проницаемости древесины березы.....	37
2.3 Выводы ко второй главе.....	39
ГЛАВА 3. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ.....	41
3.1 Материалы, используемые для проведения исследований.....	41
3.2 Определение оптимальных условий для развития побурения в древесине березы.....	41
3.3 Определение физических свойств древесины.....	43
3.3.1 Определение абсолютной влажности древесины.....	43
3.3.2 Определение газопроницаемости древесины.....	44
3.4 Определение механических свойств древесины.....	46

3.4.1 Определение прочности при сжатии вдоль волокон.....	47
3.4.2 Определение прочности при статическом изгибе.....	48
3.4.3 Определение ударной вязкости при изгибе.....	50
3.5 Микроскопические исследования.....	51
3.5.1 Исследование микростроения древесины в световом микроскопе.....	51
3.5.2 Исследование микростроения с помощью сканирующего электронного микроскопа.....	53
3.6 Идентификация доминирующих видов биологических агентов в древесине березы.....	54
3.6.1 Выделение ДНК.....	55
3.6.2 Анализ полученной ДНК.....	56
3.7 Формирование проницаемых участков древесины.....	60
ГЛАВА 4. РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ...	63
4.1 Результаты предварительных экспериментов определения параметров выдержки древесины березы	63
4.2 Результаты выдержки древесины в контролируемых заданных условиях.....	64
4.3 Определение параметров снижения проницаемости древесины березы вдоль волокон.....	67
4.3.1 Газопроницаемость древесины березы с побурением.....	67
4.3.2 Исследование проницаемости жидкостями древесины березы с побурением.....	68
4.4 Результаты механических испытаний.....	69
4.5 Результаты микроскопических исследований проводящих элементов древесины березы после побурения.....	71
4.5.1 Исследование влияния анатомического строения древесины березы на проницаемость жидкостями	71

4.5.2 Результаты исследования состояния проводящих элементов древесины.....	80
4.6 Результаты ДНК секвенирования.....	84
4.6.1 Краткое описание выявленных грибов.....	90
4.7 Результаты направленного изменения проницаемости древесины березы.....	90
4.7.1 Результаты определения доминирующих факторов на продувку древесины.....	90
4.7.2 Результаты формирования проницаемых участков древесины березы.....	91
4.8 Выводы к четвертой главе.....	93
ГЛАВА 5. ТЕХНОЛОГИЯ ФОРМИРОВАНИЯ ИСКУССТВЕННОЙ ТЕКСТУРЫ ДРЕВЕСИНЫ БЕРЕЗЫ.....	96
5.1 Требования к сырью и условия хранения.....	96
5.2 Описание технологического процесса.....	97
ГЛАВА 6. ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ.....	103
6.1 Технологический расчет производительности участка пропитки	103
6.2 Планирование затрат на производство	108
6.3 Планирование себестоимости и цены продукции.....	111
6.4 Выводы к шестой главе.....	112
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	113
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	115
ПРИЛОЖЕНИЕ А.....	131

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы. Ежегодно спрос на изделия из натуральной древесины только увеличивается. Особенно высоко ценятся древесные породы, имеющие высокие физико-механические показатели и декоративные свойства. Древесина, имеющая привлекательный внешний вид широко используется при изготовлении мебели, предметов интерьера, отделочных материалов. Однако запасы такой древесины невелики, что увеличивает стоимость и ограничивает спрос на такую продукцию.

Основная масса пород, произрастающих на территории нашей страны, имеет невыразительную текстуру и бледную окраску древесины. Это делает их невостребованными в производстве товаров, к которым предъявляются повышенные эстетические требования [1]. Одним из вариантов повышения доступности изделий из натуральной древесины является использование малоценных пород, таких как береза, осина и ольха.

Береза является наиболее распространенной лиственной породой на территории РФ. Березовые леса занимают площадь около 119,8 млн. га с общим запасом 13 млрд. м³ [2]. Древесина березы обладает достаточно высокими физико-механическими свойствами на уровне или выше древесины широко используемых хвойных пород. К недостаткам березовой древесины относят невысокую биостойкость, бледную окраску и невыразительную текстуру.

В настоящее время существуют различные методы улучшения декоративных свойств древесины. В большинстве случаев формирование искусственной текстуры обеспечивается за счет неоднородного окрашивания древесины на поверхности заготовок или на всю толщину материала. Для обеспечения формирования природоподобной текстуры в древесине, не имеющей естественных контрастных элементов, необходимо проявить естественную анатомическую неоднородность древесины за счет локального пропитывания

окрашивающими составами. Одним из вариантов такого окрашивания может стать способ управляемого изменения проницаемости древесины. Управление процессами, обеспечивающими изменение проницаемости древесины, может позволить формировать в материале проницаемые и не проницаемые зоны, что при дальнейшей пропитке красителями позволит обеспечить неоднородное окрашивание древесины.

С учетом вышесказанного, в рамках представленной работы, было принято решение исследовать возможность разработки технологии управляемого изменения проницаемости древесины березы за счет применения раневой реакции в целях формирования искусственной текстуры древесины. Данный способ формирования текстуры древесины березы позволит получать из древесины заболонных пород, в натуральном виде не обладающих яркой окраской и выразительной текстурой, пиломатериалы или строганый шпон с высокими декоративными свойствами. Данные материалы могут быть использованы в производстве мебели, напольных покрытий, отделочных материалов и предметов интерьера.

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.

A., 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 № 2773657 С1).

Теоретическая и практическая значимость работы

Теоретическая значимость работы заключается:

1. В определении механизма 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.

Объект исследования: 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. 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 результатов подтверждена теоретическим анализом и экспериментальными исследованиями с использованием современного оборудования, а также сопоставлением с известными научными данными. Результаты работы докладывались на всероссийских и международных конференциях: «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 131 страницах машинописного текста, содержит 18 таблиц и 71 рисунок. Работа состоит из введения, 6 глав, заключения, списка литературы, включающего 160 ссылок на отечественные и зарубежные работы, и 1 приложения.

ГЛАВА 1. СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА

1.1 Декоративные свойства древесины

Древесина, как материал, обладает уникальным набором декоративных свойств, которые обуславливают ее ценность и широкое применение в качестве материала для изделий, к которым предъявляют высокие эстетические требования. Одними из факторов, влияющих на декоративные свойства древесины, являются особенности древесной породы, а также выбранный вид последующей обработки древесины [3].

К основным декоративным свойствам древесины относят ее цвет и текстуру. Цвет древесины зависит от различных пигментов и может варьироваться от светлых оттенков до темных. В цветоведении цветом называют характеристику зрительного ощущения, которая позволяет распознавать качественные различия излучений, обусловленные различием спектрального состава цвета. В настоящее время качественную и количественную оценку цвета древесины проводят по атласам цветов и методике профессора Е. Б. Рабкина [4]. Цвет является одним из важнейших декоративных свойств, определяющих восприятие будущего изделия из древесины. Текстура представляет собой рисунок, образуемый на поверхности древесины в следствие перерезания анатомических элементов [5]. Чем сложнее строение древесины, тем разнообразнее и красивее ее текстура [6]. Древесина лиственных пород обладает более сложным строением, поэтому отличается более многообразной текстурой, чем древесина хвойных. Текстура древесины зависит от ширины и формы годичных слоев, разницы в плотности и окраске между ранней и поздней древесиной, сердцевинных лучей, крупных сосудов.

Декоративные свойства древесины играют ключевую роль в дизайне мебели и предметов интерьера из древесины. Современные технологии обработки

древесины позволяют не только подчеркивать природные декоративные свойства, но и создавать новые, в частности, модифицируя цвет и текстуру древесных пород. Основные лесообразующие породы, произрастающие на территории России, не обладают выразительной текстурой и ярким цветом. Повышение декоративных свойств малоценных пород древесины расширит области их применения и позволит создавать эстетически привлекательные и функциональные изделия [1].

1.2 Способы повышения декоративных свойств древесины

Варианты повышения декоративных свойств древесины можно разделить на способы поверхностного облагораживания (поверхностное крашение древесины, термомеханическая обработка поверхности древесины, нанесение на поверхность текстуры с помощью печати и облицовывание пленками) и глубокого крашения (пропитка под давлением и избирательное окрашивание древесины).

В производстве мебели из натуральной древесины активно применяются методы поверхностного окрашивания. Это обусловлено их высокой эффективностью, доступностью используемого оборудования и простотой реализации технологических процессов [7-11].

Поверхностное окрашивание, как правило, осуществляется на заключительных этапах производства деталей, узлов и готовых мебельных изделий, влажность которых не превышает 8-12 %. В результате поверхностного окрашивания текстура древесины становится более выразительной, а тон краски усиливается [8]. Главными факторами, определяющими результат поверхностного окрашивания, являются качество предварительной подготовки поверхности и наличие дефектов в древесине.

Поверхностное крашение осуществляется пневматическим распылением, нанесением красителя вальцами, методом печати, погружением в красильную ванну, и вручную с помощью кисти. Все эти методы характеризуются

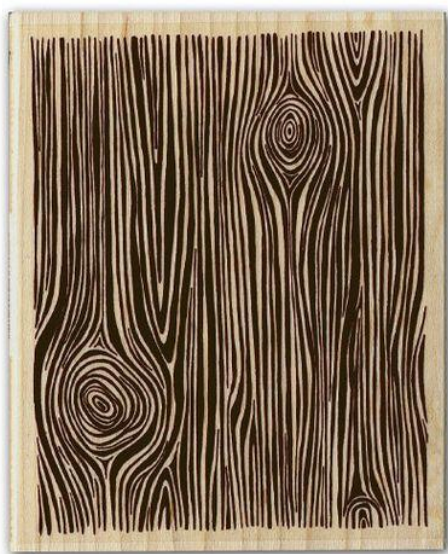
относительно небольшим расходом красителя, и только при пневматическом распылении потери красящего состава могут быть увеличены из-за образования тумана. Текстура древесины проявляется неравномерно в зависимости от плотности ранней и поздней зон годичного слоя. Однотонное окрашивание при поверхностном крашении чаще всего наблюдается у рассеянно-сосудистых пород.

Подчеркнуть у древесины ее естественную текстуру можно не только с помощью нанесения на поверхность окрашивающих растворов, но и с помощью комбинированной обработки [12-14]. В работе [12] предлагается произвести обжиг верхних слоев древесины с дальнейшим брашированием (Рисунок 1.1). При брашировании выбираются мягкие волокна с внутренней части годичного слоя, а поздняя часть годичного слоя становится более выраженной. Браширование придает древесине эффект «состаривания». В сочетании с обжигом, браширование позволяет получить контрастную структуру и глубокий рельеф на поверхности для улучшения внешнего вида отделочных материалов [12]. Этот способ не подходит для рассеянно-сосудистых пород, у которых отсутствуют чётко выраженные зоны годичного слоя.

Способ нанесения рисунка на поверхность древесины для имитации текстуры ценных пород также получил широкое применение в отделке отдельных элементов при производстве мебели [15]. Имитационная отделка состоит из накатки текстуры на отделываемую поверхность или наложения текстуры посредством пресса, ретуширования и лакирования. Насчитывается множество различных методов, среди которых печатание и патинирование (Рисунок 1.2).



Рисунок 1.1 – Фактурная поверхность древесины с ярко выраженной текстурой после обжига и браширования [12]



а



б

а – печатание [16]; б – патинирование [17]

Рисунок 1.2 – Имитационная отделка на поверхности древесины

К недостаткам поверхностного крашения можно отнести необходимость предварительной подготовки поверхности и дополнительные затраты на специальные приспособления при работе с токсичными красителями. Однако главным недостатком этого метода является то, что красящий состав проникает в древесину неглубоко [8]. В результате в процессе эксплуатации изделия, возможно, его частичное или полное удаление, а также становится невозможной дальнейшая механическая обработка [1].

Помимо поверхностного облагораживания древесины существуют различные способы и технологии для глубокого крашения древесины. Эффективными способами глубокого окрашивания древесины являются торцовая пропитка и пропитка древесины под давлением в автоклаве [18-21].

Способ торцовой пропитки известен достаточно давно и применялся при глубоком крашении березовых бревен и кряжей. Он заключается в подведении окрашивающего раствора к торцам бревна через эластичную резиновую муфту и в последующей пропитке при использовании избыточного давления. На вершинный

торец бревна накладывается приемная эластичная муфта. При данном способе пропитки может быть использован вакуум, создаваемый в приемной муфте. По пути передвижения красители поглощаются и закрепляются на древесине. При пропитке часть раствора удерживается древесиной, увеличивая ее влажность, часть выходит из другого торца в виде раствора меньшей концентрации, которая зависит от степени сродства красителя к древесине. Основными факторами, влияющими на качество торцевой пропитки, являются: использование соответствующего сырья и его подготовка к крашению, подбор красящих рецептур и установление оптимальных технологических режимов [8].

Крашение древесины в автоклавах имеет ряд преимуществ перед остальными способами. Процесс происходит в герметичном сосуде – автоклаве, где создается высокое давление, способствующее более глубокому и равномерному распределению окрашивающего раствора. При автоклавной пропитке используются несложные рецептуры окрашивающих растворов, ввиду применения распространенных красителей. Также после пропитки древесины под давлением текстура становится особенно выразительной в пределах годичного слоя за счет избирательного окрашивания различных анатомических элементов древесины [8].

Способы глубокого крашения позволяют равномерно распределить окрашивающие вещества на всю длину заготовки, но образуемая текстура ограничивается зонами годичного слоя.

Избирательное окрашивание отдельных анатомических элементов древесины можно достичь, используя различные растворимые реактивы [22-25]. В работах [6, 26] авторами предлагается древесине малоценных пород придавать одноцветную или двухцветную окраску различных групп анатомических элементов, что позволяет получать разнообразную текстуру, в том числе текстуру, схожую с текстурой древесины ценных пород. Для этого авторы последовательно пропитывали древесину ольхи двумя растворимыми реактивами. При последовательной пропитке данными реактивами и их соединении краситель

образуется не только в полостях сосудов, но и в полостях клеток сердцевинных лучей, образуя различную по цвету окраску. В последующем древесину прессовали для создания неоднородных текстур в древесине за счет смятия анатомических элементов.

Автор в работе [27] представляет устройство, обеспечивающее одновременное введение различных по цвету окрашивающих растворов в древесину за счет нагнетания. Устройство в виде диска с ребрами (Рисунок 1.3), образующими конусовидные канавки с отверстиями для ввода красителей, внедряются в торец срубленной древесины. Затем во все цилиндры с окрашивающими растворами одновременно нагнетается сжатый воздух, под давлением которого красители по флангам попадают в канавки и проходят через древесину, создавая различную цветовую окраску отдельных участков.

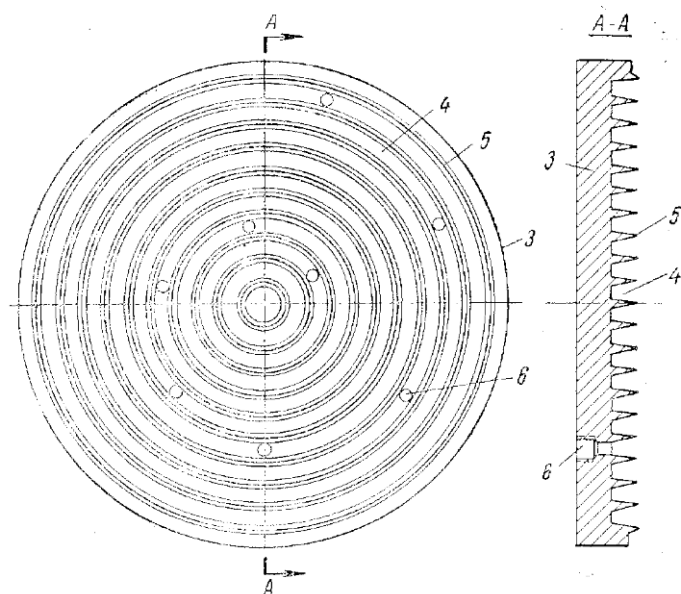


Рисунок 1.3 – Схема устройства для пропитки древесины[27]

Автоклавное окрашивание древесины под давлением позволяет получить глубокое и равномерное по длине окрашивание, при этом подчеркнув текстуру дерева. Однако стоит учитывать, что оно ограничивается распределением красителя по годичному слою и подходит для легко- и умеренно пропитываемых

пород древесины. Более сложные методы, такие как последовательная пропитка реактивами и прессование, а также введение различных красителей через торец под давлением, могут имитировать текстуру ценных пород дерева, но они требуют больше времени и трудозатрат.

Еще одним способом избирательного окрашивания является метод лазерной перфорации [1, 28]. В заготовках из древесины пихты прожигаются отверстия глубиной 15 мм. Далее производится пропитка в автоклаве при избыточном давлении. После высушивания и снятия верхнего окрашенного слоя перфорированная окрашенная древесина пихты получает текстуру, имеющую схожий вид с ценной древесиной породы зебрано (Рисунок 1.4). Предложенный способ позволяет управляемо окрашивать труднопропитываемую древесину на заданных участках, тем самым формируя искусственную текстуру [1].



Рисунок 1.4 – Древесина пихты, перфорированная лазером и окрашенная[1]

При избирательном окрашивании используются технологические приемы и оборудование, которые из-за сложности и трудоемкости процессов не получили практического распространения [1].

1.3 Проницаемость древесины и причины ее снижения

Под проницаемостью древесины принято понимать ее способность пропускать через себя жидкости и газы [43]. Проницаемость имеет важное

значение при разработке режимов пропитки и сушки древесины. Величина газопроницаемости является критерием, по которому можно прогнозировать способность древесины к пропитке [44]. Под газопроницаемостью принимают способность древесины пропускать через себя газы под давлением. Основным показателем является коэффициент газопроницаемости K , $\text{м}^3/\text{с}\cdot\text{МПа}$, который определяется по ГОСТ 16483.34-77 «Древесина. Метод определения газопроницаемости» [45].

Газопроницаемость древесины хвойных пород была изучена в работах [46-49]. Баженов В.А. установил, что древесина заболони сосны проницаема для воздуха поперек волокон [46]. Ядровая же часть сосны почти не проницаема или непроницаема вовсе.

Экспериментально-теоретическими исследованиями по части проницаемости древесины газами и жидкостями занималась Харук Е. В.. В своей работе [49] она рассматривает проводимость ядровой и спелой древесины хвойных пород в зависимости от различных факторов, возможности регулирования и увеличения проницаемости. Ею установлены особенности анатомического строения древесины хвойных пород, физических и химический состав, а также физико-химические и структурные изменения древесины в связи с ее проницаемостью. Харук Е. В. установила, что проводимость древесины увеличивается с повышением температуры и при удалении экстрактивных веществ.

Ермолиным В. Н. было отмечено, что проницаемость, в радиальном направлении, в несколько раз выше, чем в тангенциальном. Причиной различия проницаемости, как показали исследования, является то, что перенос газов и жидкости в радиальном направлении происходит по лучевым трахеидам [48]. Также Ермолин В. Н. занимался изучением влияния амплитудно-частотных характеристик переменного жидкостного давления на проницаемость ядровой древесины сосны. Им был изучен характер изменения скорости поглощения при

пропитке с переменным давлением [50]. В своей работе [48] он изучил и впервые предложил способ, позволяющий пропитывать ядро и спелую древесину.

В исследованиях таких ученых как Оснач Н. А. и Баженов В. А. рассмотрены особенности проницаемости древесины лиственных пород [43, 46-47]. Оснач Н. А. внес большой вклад и провел теоретические и экспериментальные исследования проницаемости и проводимости древесины для жидкостей и газов [43]. Он привел характеристики гидродинамического течения флюида через древесину с учётом неоднородности её строения – коэффициента проницаемости, коэффициенты фильтрации и эффективные радиусы капиллярной системы. Помимо этого, Оснач Н. А. описал проводимость древесины в зависимости от содержания в ней влаги и газа, а затем дал практические рекомендации по использованию этих зависимостей при пропитке древесины без избыточного давления. Им была предложена методика, позволяющая определять размеры проводящих анатомических элементов древесины исходя из кинетики движения жидкости по капиллярам с использованием методов рентгенографии [43].

Баженов В. А. [47] предложил способ и прибор для определения проницаемости древесины. Также им отмечено различие капиллярного и диффузного перемещения жидкостей в древесине. Капиллярное перемещение происходит при влажности выше точки насыщения волокна, а диффузное – при влажности ниже этой точки. Диффузное перемещение воды соответствует влагопроводности и следует первому закону диффузии. А в исследовании Баженова и Вихрова [30, 46] было выявлено, что условия произрастания влияют на то, как влага распределяется по стволу дерева. Это позволяет предположить, что у лиственных пород ядро участвует в процессах водообмена в дереве.

Воздухопроницаемость вдоль волокон при помощи уравнения для пористой среды изучал Гусев Н. Ф. [51]. Буглай Б. М., Иванов Ю. М., Чулицкий Н. Н., Фоломин А. И., Ханмамедов К., Варфоломеев Ю. А. занимались исследованиями проводимости, проницаемости и пропитки древесины. Работа этих авторов

позволили Леоновичу О. К. исследовать проницаемость древесины сосны и выявить особенности проникновения воздуха в продольном и поперечном направлениях [52], а Шутову Г. М. предложить методику исследования проницаемости древесины березы по закону Дарси [53].

Из зарубежных ученых [54-58], занимающихся изучением древесины, в том числе проницаемостью, можно отметить Stamm A. J., который исследовал факторы, влияющие на проницаемость древесины [59-61].

Помимо него исследованиями проницаемости занимались Kelso We C., Gertjeansen Jr., R. O., и Hossfeld R. L., которые исследовали влияние содержания воздуха в полостях клеток на проницаемость древесины для жидкостей. Ими было отмечено, что постоянную скорость потока жидкости через древесину можно обеспечить и поддерживать неограниченное время в широком диапазоне давлений, если предварительно жидкость пропустить через ультрафильтр для удаления посторонних частиц, а также локально снизив давление в ответ на изменение скорости потока [62].

В другой работе [63] авторы Chen P. Y. S., Zhang G., Van Sambeek J. W. исследовали взаимосвязь между скоростью роста древесины, площадью просвета сосуда и проницаемостью древесины. Они пришли к выводам, что более быстрый рост привел к более проницаемой заболони (в продольном направлении) у тополя, чем у дуба и грецкого ореха. Скорость роста не влияла ни на процентное соотношение площади просвета сосудов, ни на радиальную проницаемость заболони. Кроме того, авторы определили, что свежесформированное ядро дуба сохраняет высокую продольную проницаемость, в то время как древесина ореха и тополя становится непроницаемой более чем на 99% после преобразования заболони в ядро из-за образования тилл [63].

Panigrahi S, Kumar S, Panda S, Borkataki S. в работе [64] исследовали водопроницаемость заболони и ядра древесины хвойных пород. Они установили, что заболонь хвойных деревьев гораздо более проницаема, чем ядро. Кроме того, они пришли к выводу, что проницаемость лиственных пород в поперечном

направлении чрезвычайно низка, а повышение проницаемости в этом направлении затруднено [64].

Проницаемости древесины также посвящены работы таких авторов как Jinman W., Chengyue D., Yixing L. [65] и Acosta A. [66]. Последний представил анализ развития технологий, используемых для определения проницаемости древесины для жидкостей или газов в качестве проникающих сред.

1.3.1 Проницаемость древесины березы

По ГОСТ 20022.2-2018 древесину подразделяют на группы по пропитываемости [67]. Древесину березы относят к легкопропитываемым породам. Она не имеет облистного ядра, и является заболонной породой. Расположение сосудов по ширине годичного слоя способствует равномерному распределению пропитывающих составов. Но у данной породы встречаются такие пороки как ложное ядро и побурение, которые являются большим барьером при пропитке древесины березы. Опытные пропитки показывают, что такая древесины почти не проницаема для жидкостей [68]. В отличие от ложного ядра побурение возникает уже в заготовленной древесине при ее хранении. Побурение древесины относят к ненормальным окраскам, возникающим в свежесрубленной древесине при определенных температурно-влажностных условиях [69].

Исследования по изменению проницаемости древесины березы представлены в работах Ермолина В. Н., Елисеева С. Г., Намятова А. В. [70, 71]. Авторами было установлено, что изменяя начальную влажность древесины березы перед пропиткой, можно контролировать её поперечную проницаемость. Кроме того, исследования авторов показали, что при раневой реакции древесных клеток березы ее древесина становится малопроницаемой. Процесс снижения проницаемости с использованием данной реакции древесины может быть управляемым и избирательным.

В своей работе Калита О. Н., Калита Г. А., Грушина А. Ю. провели исследования проницаемости древесины березы пораженной гнилями 2 и 3 степени для вовлечения в переработку такой биоповрежденной древесины. Ими были подобраны полимерные материалы способные восстановить до требуемых прочностные характеристики поврежденных участков древесины березы [72].

Результаты исследования проницаемости древесины березы при ее модификации представлены в работе [73]. Авторами проведены исследования по изучению возможности использования древесины березы после дополнительной обработки для изготовления паркета. Исследована глубина проникновения модифицирующих составов для создания износостойкого слоя напольного покрытия из древесины березы. Установлены параметры пропиточного состава и технологические режимы пропитки.

Зарубежные исследователи также внесли вклад в изучение проницаемости древесины березы [57, 74]. В частности, Petty J. A. и Palin M. Anne исследовали проницаемость древесины березы для жидкости [55], представив результаты исследования проницаемости клеточной стенки.

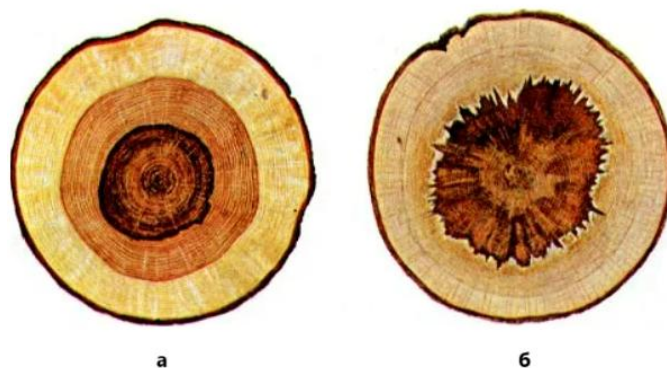
1.3.2 Причины снижения проницаемости древесины

Проницаемость древесины определяется особенностями древесной породы, состоянием ее анатомических элементов и физико-химическими свойствами древесины [49, 75]. Образование спелой и ядровой древесины снижает проницаемость, а у отдельных пород ядровая древесина становится водонепроницаемой [52]. Кроме того, породы по ядрообразованию принято разделять на две группы: с облигатным или настоящим ядром и ложным или факультативным ядром [69].

Облигатное ядрообразование является ростовым процессом и связано с биологическим старением живых клеток древесины [69]. Образование факультативного ядра у лиственных пород и побурение заболони при отмирании

ее после рубки дерева являются аналогичными раневой реакции процессами, протекающими в сопоставимых специфических условиях. Первое не приводит к образованию порока, поскольку настоящее ядро является нормальным явлением вследствие строгой закономерности в появлении. Факультативное ядро является пороком и рассматривается при описании прелости (побурения) древесины [69].

Ложное или факультативное ядро – темноокрашенная внутренняя зона древесины лиственных пород (береза, бук, ольха, осина, клен, граб, липа и др.). Граница ложного ядра обычно не совпадает с годовыми слоями. От заболони оно чаще отделено темной каймой. Различают округлое и звездчатое ядро (Рисунок 1.7). Ложное ядро ухудшает внешний вид древесины и имеет пониженную проницаемость [76-88].

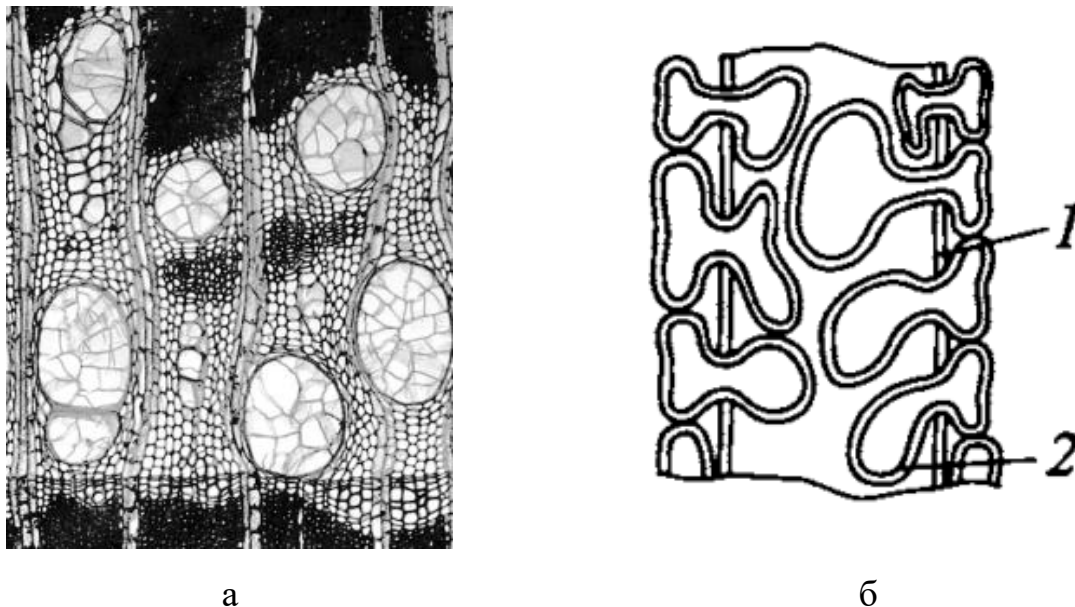


а – округлое, двухзональное ядро (в центре сформировавшееся ядро, вокруг него морозное ядро); б – звездчатое ядро

Рисунок 1.7 – Виды ложного ядра [89]

Ядрообразование некоторых пород древесины сопровождается появлением тилл (от гр. *thyllis* – вздутие) [90-94]. Образование тилл является ростовым процессом и сопровождается дыханием древесины (дыхательный коэффициент около 1) [69]. Эти мешковидные образования (Рисунок 1.9) с одревесневшими оболочками обычно закупоривают сосуды в процессе формирования ядра акации,

грецкого ореха, дуба, ясеня и других лиственных пород. Иногда тиллы появляются и в заболони [5].



а – древесина с тиллами в сосудах; б – схема тиллозиса в сосуде; 1 – стенка сосуда; 2 – тиллы

Рисунок 1.9 – Тиллы [94]

Известно, что побурение древесины возникает при хранении свежезаготовленной древесины и приводит к снижению ее проницаемости, делая такую древесину труднопропитываемой. Процесс побурения заболони происходит при ее медленном отмирании, которое протекает в специфических условиях. Побурение является пороком древесины и рассматривается при описании прелости лиственных безъядровых пород древесины [75, 95-96]. При этом заболонь приобретает бурую окраску различной интенсивности и равномерности, иногда со слабо выраженными серыми или белесыми пятнами и полосами (Рисунок 1.10).



Рисунок 1.10 – Побурение древесины [97]

Различают два типа побурения: торцевое и боковое. При торцевом, начиная с торцов лесоматериалов, окраска распространяется конусовидно. Затем конусы соединяются в середине. Боковое побурение наблюдается в местах повреждения коры [77].

Ванин С. И. относит побурение к ненормальным окраскам древесины, которое наблюдается при летнем хранении влажной древесины безъядерных лиственных пород [78]. Федоров Н. И. описывает это явление появлением однотонной красновато-бурой окраски неокоренной древесины из-за комплекса нескольких биологических реакций. По данным Вакина А. Т., появление ненормальной окраски обуславливается окислительными процессами, происходящими в древесине по мере обогащения ее кислородом за счет изменения влажности [75]. Так, побурение древесины березы начинается летом при уменьшении влажности древесины ниже 79% и распространяется вдоль волокон со скоростью около 30 см в месяц. Первые признаки побурения древесины при благоприятных условиях появляются через две недели после рубки дерева [76-77].

Побурение представляет собой явление, в котором совмещаются три различных процесса, протекающих одновременно или последовательно. Сначала происходит закупорка водопроводящих путей, приводящая к замедлению испарения влаги из древесины и преграждению доступа в нее воздуха (раневая реакция живых клеток заболони). Во-вторых, по мере уменьшения влажности древесины происходит процесс отмирания живых клеток заболони, окисления их содержимого кислородом воздуха и появления бурой окраски [98]. В-третьих, на древесине поселяются грибы и бактерии, приводящие к дальнейшему изменению ее цвета [99]. Впоследствии все три процесса протекают одновременно при возрастающей активности грибов. В первую очередь, поражается центральная часть заболони с ослабленной жизнедеятельностью клеток, затем побурение захватывает всю заболонь. После отмирания коры побурение распространяется в боковой поверхности бревен, продвигаясь в радиальном направлении к центру.

В процессе побурения можно наблюдать появление раневой окраски, которая проявляется в виде участков красноватых, буроватых или коричневатых оттенков, имеющих различные формы и размеры. Ее относят к первичным порокам древесины. Она является результатом раневой реакции, сущность которой заключается в отмирании живых паренхимных клеток и образовании в них окрашенных веществ [100].

Раневая реакция происходит при повреждении древесины и любом значительном нарушении водно-газового режима в стволе вследствие старения живых клеток, поражения древесины грибами или проникновения воздуха в сосуды. По данным В.А. Соловьева [69] раневая реакция тождественна с процессом ядрообразования в древесине и ее вероятным стимулятором считается высокое содержание кислорода, который проникает в поврежденную древесину из атмосферы. Подобная реакция направлена на защиту живых участков от высыхания или поражения грибами, приводит к закупорке проводящих анатомических элементов древесины, а следовательно, снижению ее проницаемости.

Раневые реакции в древесине были предметом многочисленных исследований зарубежных ученых [101-122], особенно в отношении механизмов изменения цвета заболони [99, 101, 106, 108, 118]. В 1977 году Shigo и Marx сформулировали гипотезу CODIT (Compartmentalization of Decay in Trees), в которой изменение цвета древесины после ранения интерпретировалось как образование барьерной ткани, ограничивающей распространение микроорганизмов в здоровую древесину [115].

Микроскопические исследования изменений в таких тканях лиственных деревьев выявили два основных механизма, участвующих в формировании барьерной зоны. Некоторые виды, такие как дуб (*Quercus*), каштан (*Castanea*) и липа (*Tilia*), образуют тиллы в сосудах заболони [112], тогда как береза (*Betula*) и клен (*Acer*) образуют фибриллярный материал, закупоривающий просветы сосудов [108].

По сравнению с реакциями, сопровождающимися образованием тилозов, природа образования раневых реакций древесины березы до конца не изучена. Bauch описал тонкий мембранный слой на лестничной перфорации сосудов у березы, а дальнейшие исследования выявили образование и экструзию фибриллярного материала не только в сосуды, но и в прилегающие волокна древесины березы [108]. Наиболее показательные исследования в области изучения раневой реакции в живых деревьях провели Uwe Schmitt и Walter Liese. В 1990 году они опубликовали работу, в которой провели ряд экспериментов по изучению изменений древесины непосредственно вблизи раны после повреждения. Авторы установили, что через некоторое время живые клетки вокруг раны гибнут. При этом, между паренхимной клеткой и смежным сосудом вблизи поры образуется фибриллярный материал, который накапливается и в дальнейшем экструдируется через мембрану поры, попадая в полость сосуда, а затем на перфорационную пластину, блокируя пропускную способность сосуда [102].

1.4 Строение древесины березы

В качестве предмета для исследований выбрана древесина березы, которая является одной из распространенных древесных пород на территории нашей страны. Из 70 видов березы, наибольшее распространение имеет береза пушистая (*B. Pubescens* Ehrh) и береза бородавчатая (или повислая – *B. Pendula* Roth) [29]. Область распространения обоих видов широка и составляет около 1/2 площади всех лиственных лесов России и ближнего зарубежья.

1.4.1 Макроскопическое строение древесины березы

По данным Вихрова В. Е. [30], береза относится к рассеяннo-сосудистым, заболонным породам. Ее древесина имеет одинаковую окраску белого или слегка желтоватого цвета по всему сечению ствола. Годичные кольца древесины березы слабо заметны на всех разрезах. Внешняя граница годичных слоев представляет собой узкую темную полосу плотной ткани, так называемая поздняя часть годичного слоя. Ранняя древесина окрашена светлее, чем поздняя (Рисунок 1.5).



Рисунок 1.5 – Древесина березы

На поперечном разрезе у древесины березы сосуды мелкие, равномерно распределены по годичному слою, и почти не заметны невооруженным глазом. На

продольных разрезах пересеченные вдоль сосуды создают тонкую, характерную для березы заштриховатость, различимую лишь по лупой.

Сердцевинные лучи узкие, и по цвету не отличаются от общего фона. На торцевом разрезе сердцевинные лучи трудно различимы даже под лупой, а на тангенциальном разрезе совсем не видимы. На правильном радиальном разрезе сердцевинные лучи довольно хорошо заметны в виде узких, коротких блестящих черточек и точек. Многочисленные сердцевинные лучи придают продольным поверхностям древесины березы блеск, а пересеченные вдоль мелкие сосуды легкую штриховатость. На древесине часто встречаются сердцевинные повторения в виде точек или черточек красновато-бурого цвета.

У березы древесина блестящая, довольно плотная и по сравнению с древесиной липы, осины и ольхи, более тяжелая. По своим физико-механическим свойствам она может быть охарактеризована как умеренно тяжелая, значительно усыхающая, прочная, посредственно мягкая и умеренно вязкая [30-34]. Микроскопическое строение древесины березы представлено на рисунке 1.6.

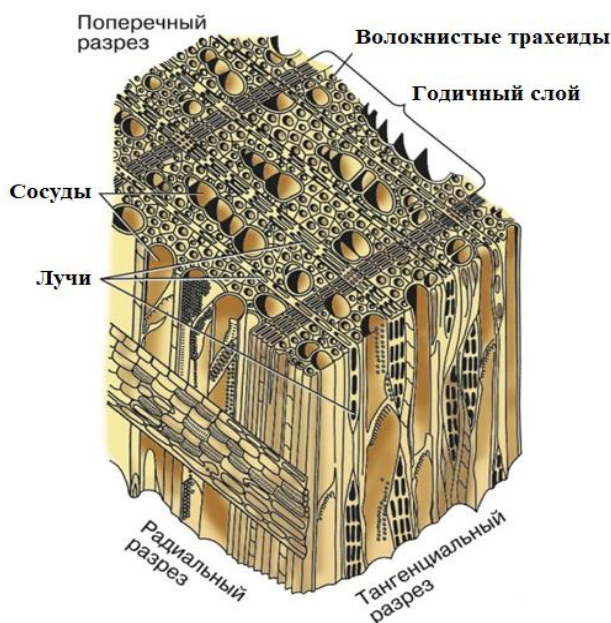


Рисунок 1.6 – Строение древесины березы

1.4.2 Микроскопическое строение древесины березы

Поперечный срез. Сосуды у древесины березы среднего диаметра – 60-100 м, относительно немногочисленные, равномерно распределены по всей ширине годичного слоя [35]; тонкостенные, сомкнутые по 2-3 (до 6-и) сосуда в виде небольших радиальных цепочек или одиночные. Очертание просветов одиночных сосудов овальное, радиально вытянутое, в группах угловатое. Густота и диаметр сосудов у внутренней и у внешней границ слоя примерно одинаковые. Годичные слои относительно узкие. Граница годичных слоев выражена полоской плотной ткани, состоящей из двух-трех слоев сдавленных в радиальном направлении тонкостенных трахеид [30].

Основной объем древесины березы составляют волокнистые трахеиды [36], имеющие тонкие или с умеренно тонкие стенки. Трахеиды располагаются преимущественно радиальными извилистыми рядами. Древесная паренхима скудная, диффузная, и отчасти терминальная [30].

Сердцевинные лучи многочисленные, узкие, одно-, двух-, трех- рядные. Четырехрядные лучи встречаются крайне редко. Сердцевинные лучи значительно уже диаметра сосудов. Весьма характерным является извилистость сердцевинных лучей и извилистость радиальных рядов трахеид. При пересечении с границей годичного слоя сердцевинные лучи расширяются. Годичные границы сердцевинных лучей и общая граница годичного слоя совпадают [30].

Радиальный срез. Членики сосудов длинные, в среднем 600 м, с острыми, короткими или удлинёнными клювиками. Перфорационные пластинки сосудов лестничные, расположены на боковых или косо поставленных поперечных стенках [37]. Перекладины перфораций сосудов тонкие, по 16-30 (в среднем по 20-25) перекладин в перфорации. Межсосудистая поровость очередная; поры многочисленные, сомкнутые, реже сближенные, настолько мелкие, что трудно определить их форму. На стенках сосудов поры образуют скопления в виде сплошной сетки. Спиральные утолщения и спиральная штриховатость отсутствуют [30]. Функция сосудов в древесине заключается в транспортировке воды и питательных веществ от корней к кроне [38-42].

Волокнистые трахеиды с гладкими или слегка зазубренными, заостренными окончаниями, тонкостенные или с умеренно утолщенными оболочками с редкими мелкими окаймленными порами. В среднем толщина стенок трахеид около 5-4 м. Тяжи древесной паренхимы состоят из 3-6 значительно потянутых по длине клеток [30].

Сердцевинные лучи гомогенные, с некоторой тенденцией к гетерогенности. Внутренние клетки лучей лежащие, по краям некоторых лучей иногда встречаются квадратные клетки. Типично палисадные клетки отсутствуют. Все клетки лучей тонкостенные. На стенках лучевых клеток располагаются многочисленные мелкие поры, образующие в местах соприкосновения с сосудами характерную сетчатость [30].

Тангенциальный срез. Сердцевинные лучи веретеновидные, узкие, одно-, двух-, трех-, изредка четырехрядные. Двухрядные лучи встречаются реже одно- и трехрядных. Однорядные лучи в среднем слагаются по высоте из 12 клеток, а двух- и трехрядные – из 20 клеток [30].

1.5 Выводы к первой главе

1. Рассмотрены различные способы повышения декоративных свойств древесины. Существующие способы, несмотря на многообразие, обладают рядом недостатков, которые ограничивают их практическое использование. Для достижения неоднородного окрашивания древесины в большинстве случаев необходимо подчеркнуть естественную анатомическую неоднородность. У рассеянно-сосудистых пород природная неоднородность выражена слабее из-за особенностей строения. Однако ее можно подчеркнуть с помощью окрашивания отдельных участков древесины. Наиболее эффективный способ окрашивания – автоклавная пропитка, обеспечивающая глубокое и равномерное окрашивание древесины по всей длине.

2. Анализ литературных данных показывает, что исследования проницаемости древесины с побурением, проводившиеся как советскими, так и зарубежными учёными, носят недостаточно системный характер. Работы советского периода основаны на устаревшей методологической базе, не соответствующей современным возможностям анализа. Современные исследования, в свою очередь, часто ограничиваются изучением отдельных пород или узких аспектов, не предлагая комплексного решения проблемы. Это обуславливает необходимость проведения дополнительных исследований.

3. Побурение древесины – это сложный процесс, включающий закупорку проводящих путей, отмирание живых клеток заболони с последующим окислением их содержимого, а также развитие деревоокрашивающих грибов. В совокупности эти факторы значительно снижают проницаемость древесины для жидкостей и газов.

В результате аналитического исследования были поставлены следующие задачи:

- 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.

ГЛАВА 2. ОСНОВЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ ПРОНИЦАЕМОСТИ ДРЕВЕСИНЫ БЕРЕЗЫ ДЛЯ ЖИДКОСТЕЙ И ГАЗОВ

Древесина представляет собой сложное коллоидное капиллярно-пористое тело, состоящее из сосудов, сердцевинных лучей и клеток. В этой системе есть микро- и макрокапилляры, которые соединены между собой порами. Пропиточные составы проникают в древесину березы главным образом через открытые полости сосудов. Затем они распространяются из полостей сосудов в полости смежных волокнистых трахеид. Проницаемость играет важную роль в теоретических основах модифицирования древесины [123].

Для исследования возможности регулирования проницаемости древесины березы были поставлены задачи:

- Разработать механизм перекрытия лестничных перфораций сосудов фибриллярным материалом;
- Разработать механизм обеспечивающий сохранение локальной проницаемости в процессе раневой реакции.

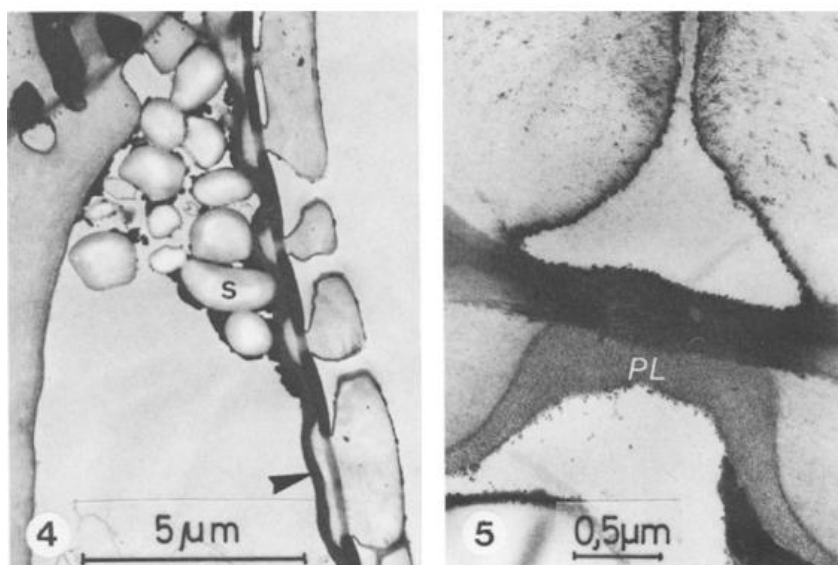
2.1 Изменения в проводящей системе древесины березы в процессе раневой реакции

Из литературных данных известно, что побурение древесины березы в первую очередь сопровождается раневой реакцией, которая приводит к снижению проницаемости древесины, и только через некоторое время заселением в нее грибами. Однако механизм, который приводит к снижению проницаемости древесины, остаётся малоизученным и требует дальнейшего изучения. В работе авторами [102] установлено, что во время защитной, раневой реакции древесины растущего дерева на изменение в ней водно-газового режима, живые клетки, представленные лучевой паренхимой, образуют материал, который накапливаясь,

выдавливается через мембрану поры в полость смежных сосудов, тем самым блокируя их.

Клетки лучевой паренхимы древесины березы обладают защитным слоем вдоль областей пор. Такой слой, согласно предложенному Uwe Schmid в 1965 году термину, стал обозначаться – PL. При увеличении слой PL представляет собой фибриллярную структуру без явной ориентации субъединиц. В большинстве случаев, плазмалемма плотно прилегает к слою PL, не оставляя видимого промежутка. Однако отмечено, что защитный слой PL отсутствует вдоль пор между клетками паренхимы [102].

При хранении заготовленной древесины, в течение двух недель происходит нарушение водно-газового режима, вследствие изменения ее влажности. В это время возникает макроскопически видимое изменение цвета древесины. В первые двое суток большинство клеток паренхимы гибнет в пределах 1-2 мм от поверхности раны, а слой PL остается неизменным (Рисунок 2.1).



(4) – Мертвые лучевые клетки на краю раны.

Ячейка с зернами крахмала (S) и неизменным слоем PL, указанного стрелкой;

(5) – Слой PL при большем увеличении

Рисунок 2.1 – Образование фибриллярного материала [102]

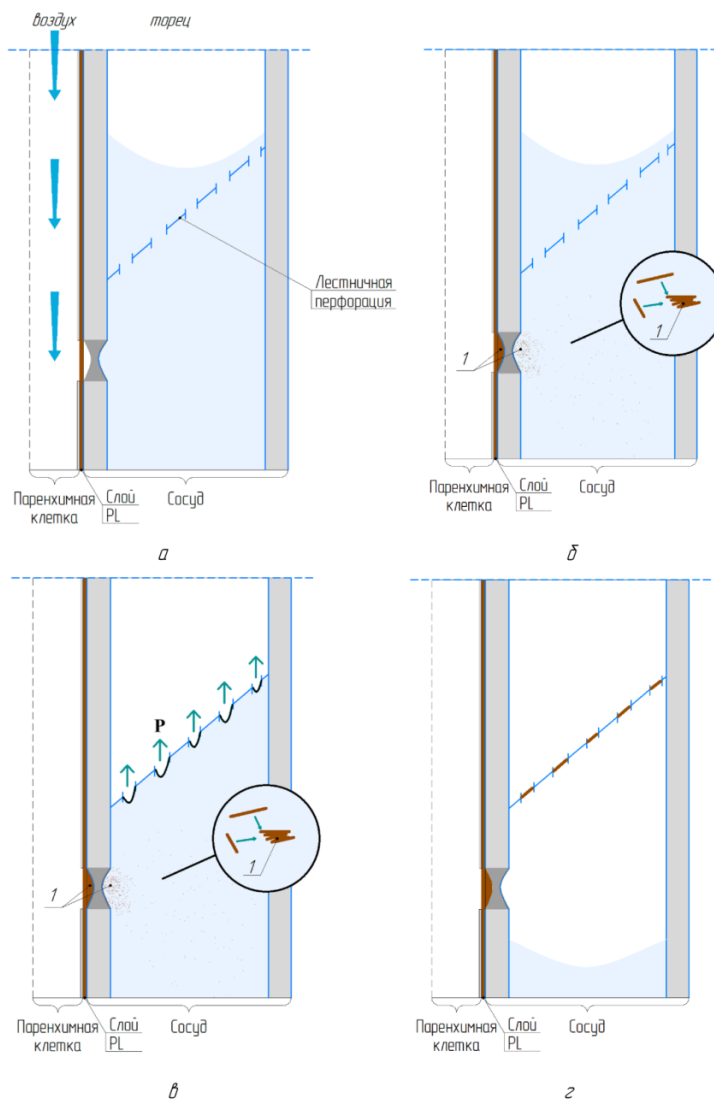
Те клетки паренхимы, которые контактируют с сосудами или волокнами, не умирают при первой реакции на ранение. Первоначально плазмалемма становится волнообразной вдоль области поры, прилегающей к водопроводящим элементам. Цитоплазматические везикулы сливаются с плазмалеммой и вытесняют образовавшийся фибриллярный материал, который накапливается вдоль слоя PL [102].

Структурных различий между измененным слоем PL и накопленными фибриллами не наблюдается. Впоследствии полость поры заполняется фибриллами, часто расположенными перпендикулярно мембране поры. На мембране не возникает структурных изменений после проникновения фибрилл. Обычно фибриллярный материал оказывается внедренным в аморфную матрицу [102].

Со временем, фибриллярные единицы, локализуются на стенках сосуда вокруг поры. В процессе испарения влаги полость сосуда освобождается от жидкости и заполняется воздухом. Фибриллярный материал оседает на лестничных перфорациях [102].

То, как фибриллярный материал локализуется на лестничных перфорациях, может быть объяснено его перемещением вместе с влагой под действием капиллярных сил. Сосуд представляет собой капилляр, в котором возникают поверхностные явления в процессе уменьшения содержания влаги и изменения мениска на границе двух сред. Фибриллярный материал отфильтровывается на перфорационных пластинах между члениками сосудов виде мембранного слоя (Рисунок 2.2).

Вероятно, оседание структурированного фибриллярного материала происходит в связи с тем, что радиус полости сосуда превосходит радиус менисков, образующихся между перекладинами лестничной перфорации при соприкосновении двух сред (жидкость-газ) [124].



- 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 перекладинами перфорации (P – капиллярное давление); г) перекрытие фибриллярным материалом просветов лестничной перфорации

Рисунок 2.2 – Механизм переноса фибриллярного материала на перфорации сосудов

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 [125]. Образованный фибриллярный слой со временем полностью перекрывает просветы лестничной перфорации [102].

В связи с закупоркой перфорационных пластинок сосудов фибриллярным материалом, снижается пропускная способность древесины на этих участках проводящей системы. Данная реакция древесины может быть использована для изменения проницаемости древесины березы.

2.2 Регулирование локальной проницаемости древесины березы

Для избирательного окрашивания древесины, с целью создания искусственной текстуры, необходимо обеспечить чередование проницаемых и непроницаемых участков. Для этого была поставлена цель: получить локальные проницаемые участки древесины [126]. Обеспечить проницаемые участки древесины было решено с помощью локальной продувки древесины воздухом.

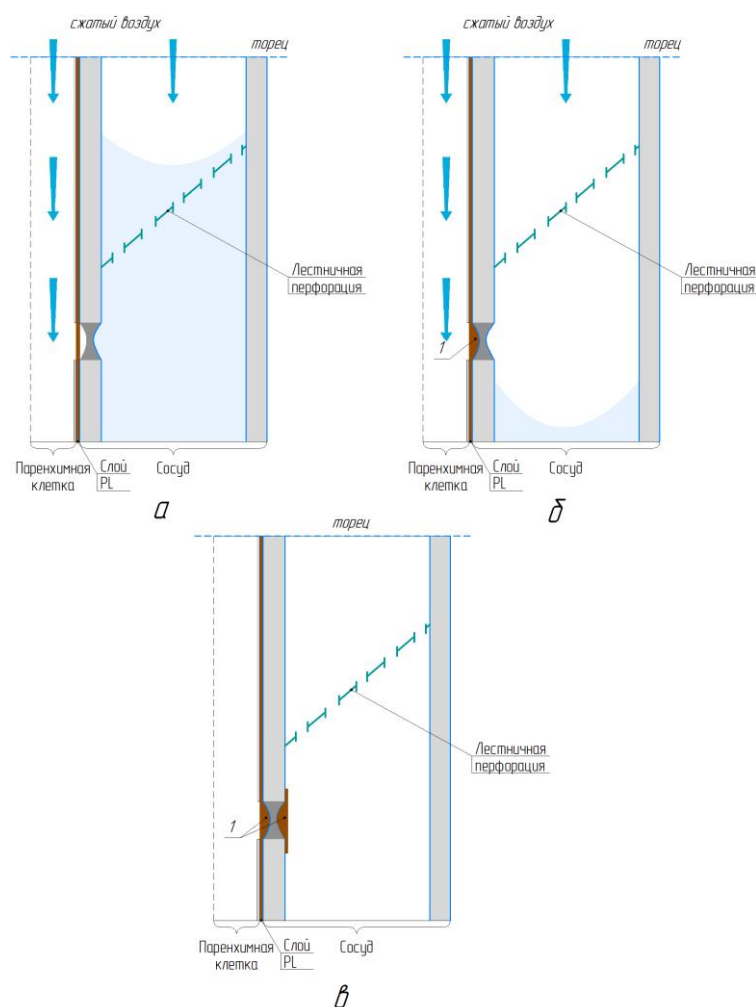
Перемещение жидкости в древесине березы осуществляется преимущественно по сосудам и в значительно меньшей степени по сердцевинным лучам. Была выдвинута гипотеза, что продолжительное воздействие воздухом по всей длине древесины приводит к вытеснению свободной влаги из полостей клеток проводящей системы без поперечного перераспределения в смежные элементы.

Предполагается, что локальные участки древесины с малой влажностью исключаются из процессов раневой реакции, что создает предпосылки для их локальной пропитки.

Воздействия избыточного газового давления вдоль волокон в локальных участках сортифта исключает воду из механизма раневой реакции. Во время локального воздействия воздухом свободная влага в проводящих элементах не перераспределяется в полости смежных клеток, а выходит с противоположного

торца сортимента. Полости сосудов, высвобождаясь от влаги, заполняются воздухом с содержанием кислорода.

В результате на этих участках перенос фибриллярного материала на лестничные перфорации происходить не будет. Фибриллярный материал остается на клеточной стенке вблизи поры, и просветы лестничной перфорации сосуда остаются свободными (Рисунок 2.4).



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

Рисунок 2.4 – Механизм сохранения локальной проницаемости древесины в процессе раневой реакции

Для проверки данной гипотезы были проведены экспериментальные исследования по получению локально проницаемых и непроницаемых участков древесины [68]. В результате пропитки участки, подвергнутые локальной продувке выявили локализацию окрашивающего состава на подготовленных участках. На соседних участках окрашивание древесины не происходило (Рисунок 2.5).

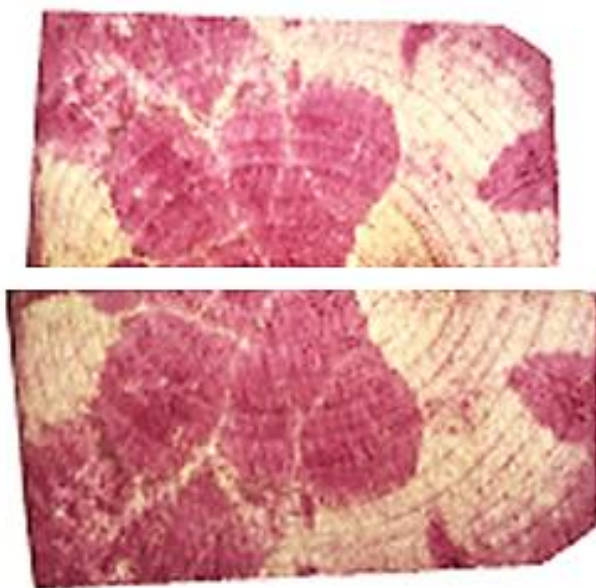


Рисунок 2.5 – Образец, пропитанный красителем, после локальной продувки воздухом (попрёк волокон) [68]

Полученные результаты подтверждают выдвинутые предположения о возможности локального регулирования проницаемости древесины на заданных участках.

2.3 Выводы ко второй главе

В процессе раневой реакции снижается пропускная способность проводящей системы для жидкостей и газов древесины березы.

1. Изменения в проводящей системе древесины березы связано с локализацией фибриллярного материала на лестничных перфорациях сосуда в результате снижения ее влажности и заполнения полостей клеток воздухом;

2. Благодаря исследованию изменения проницаемости древесины березы оказалось возможным ее регулирование. Отсутствие воды в полостях сосудов предотвращает перенос фибриллярного материала на лестничные перфорации, тем самым исключает снижение проницаемости древесины и нарушает процесс раневой реакции. Удаление влаги из полостей клеток можно обеспечить посредством предварительной продувки древесины воздухом.

ГЛАВА 3. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

3.1 Материалы, используемые для проведения исследований

Для проведения исследований использовалась свежезаготовленная в Красноярском крае (Россия) древесина березы пушистой (*B.Pubescons Ehrh*) диаметром 11 ± 1 см. (Рисунок 3.1). Чураки для исследований были выпилены по сечению ствола на высоте 1,3 м (Рисунок 3.1).



Рисунок 3.1 – Древесина березы в виде чураков

3.2 Определение оптимальных условий для развития побурения в древесине березы

Для уточнения доминирующих факторов, которые влияют на процесс побурения древесины березы, первая часть образцов выдерживалась при нормальных комнатных условиях в течение одного месяца. Для этого были

заготовлены 9 чураков из свежесрубленной древесины березы в виде неокоренных круглых сортиментов длиной 30 см и диаметром 11 ± 1 см. Для ограничения испарения влаги с торцевой поверхности образцов торцы изолировались полиэтиленовой стретч-пленкой. Далее образцы выдерживались в течение 30 суток при температуре воздуха в помещении от 18°C до 25°C , и относительной влажности воздуха около 40 %.

Другая часть образцов древесины березы выдерживалась в суховоздушном термостате СТ 1/80 СПУ в контролируемых температурно-влажностных условиях. Для этого также были заготовлены 9 чураков из свежесрубленной древесины березы в виде неокоренных круглых сортиментов длиной 30 см и диаметром 11 ± 1 см. Далее образцы помещались в электрический суховоздушный термостат СТ 1/80 СПУ (Рисунок 3.2), где выдерживались в течении 30 суток при температуре 30°C и влажности воздуха варьируемой от 90% до 60 % (изменялась по мере высыхания образцов).



Рисунок 3.2 – Выдержка образцов в суховоздушном термостате СТ 1/80 СПУ

Для удаления избыточной влаги внутри биологического термостата, был приоткрыт шибер, а для обеспечения равномерности условий работала принудительная циркуляция воздуха. Во время выдержки образцов ежедневно,

каждые 2-3 часа фиксировались показания влажности воздуха и температуры внутри термостата с помощью цифровой метеостанции.

После 5, 10 и 15 суток выдержки образцы распиливались вдоль волокон для фиксации протекания побурения. Распространение побурения фиксировалось визуально и измерялось с использованием измерительной рулетки с точностью $\pm 0,3$.

3.3 Определение физических свойств древесины

3.3.1 Определение абсолютной влажности древесины

Определение абсолютной влажности проводилось в соответствии с ГОСТ 16483.7 – 71 «Древесина. Методы определения влажности» [130].

Сперва производилась распиловка и маркировка образцов в виде дисков из окоренных чураков древесины березы (Рисунок 3.3).

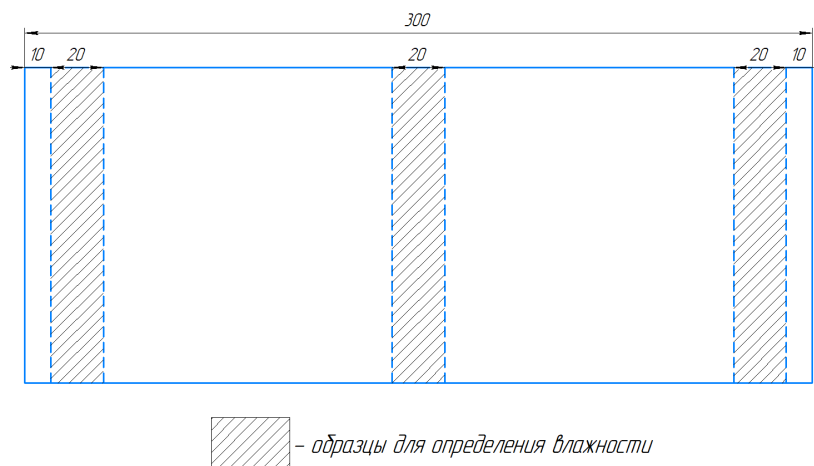


Рисунок 3.3 – Схема распиловки образцов на определение влажности

Путем взвешивания определялась начальная масса образцов (m_w) с точностью до 0,01 г. Далее образцы помещались в сушильный шкаф марки Binder для высушивания при температуре 103 ± 2 °C. Высушивание образцов

производилось до постоянной массы (m_0), когда разность между взвешиванием становилось не более 0,02 г. Масса образцов до и после высушивания определялась на лабораторных весах [135].

Расчёт показателей абсолютной влажности с точностью до 1% определялся по формуле

$$W_{\text{абс}} = \frac{(m_w - m_0)}{m_0} \cdot 100 \%, \quad (3.1)$$

где $W_{\text{абс}}$ —абсолютная влажность, %;

m_w — масса образца до высушивания, г;

m_0 — масса образца в абсолютно сухом состоянии, г.

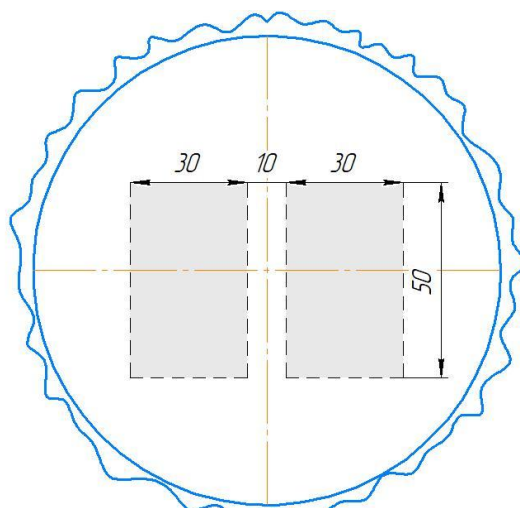
Точность вычисления влажности $\pm 0,5 \%$.

3.3.2 Определение газопроницаемости древесины

Измерение газопроницаемости проводилось по стандартной методике, регламентированной ГОСТ 16483.34-77 [131]. Из чураков древесины березы изготавливались образцы прямоугольной формы размерами 30×50×150 мм (последний вдоль волокон) (Рисунок 3.4). Перед определением проницаемости образцы высушивались до влажности 10-12 %.

Отличительной особенностью применяемой методики являлось использование нестандартной трубки для фиксации образцов прямоугольной формы (Рисунок 3.5).

Образцы зажимались в стальной трубке с резиновыми прокладками. Боковые поверхности образцов (за исключением испытываемых) изолировались нанесением двух слоев краски ПФ-115 (Рисунок 3.6).



 – образцы для проверки газопроницаемости древесины;

Рисунок 3.4 – Схема распиловки на образцы для проверки газопроницаемости древесины



Рисунок 3.5 – Струбцина для фиксации образцов



Рисунок 3.6 – Образцы с поверхностной изоляцией боковой поверхности

Испытания проводились при давлении 0,1 МПа, 0,2 МПа и 0,3 МПа. Газопроницаемость V , $\text{м}^3/\text{м}^2$ вычислялась по формуле

$$V = \frac{V_2 - V_1}{F \cdot t}, \quad (3.2)$$

где V_2 – конечная отметка уровня воды, м^3 ;

V_1 – начальная отметка уровня воды, м^3 ;

F – рабочая площадь поперечного сечения образца, м^2 ;

t – время изменения уровня воды, с.

Критерием оценки проницаемости испытуемой древесины являлся коэффициент газопроницаемости K , $\text{м}^3/\text{с} \cdot \text{МПа}$

$$K = \frac{V \cdot h}{P}, \quad (3.3)$$

где V – газопроницаемость, $\text{м}^3/\text{м}^2$;

h – высота образца, м;

P – манометрическое давление, Мпа.

Все данные фиксировались в протокол испытаний.

3.4 Определение механических свойств древесины

Определение механических свойств древесины выполнялось с использованием разрывной машины марки Р-5 и маятникового копра. Проведение исследований выполнялось на образцах, размеры которых определены по ГОСТ 16483.10-73, ГОСТ 16483.3-84 и ГОСТ 16483.4-73 [132-134]. Схема выпиливания образцов по сечению ствола представлена на рисунке 3.7.

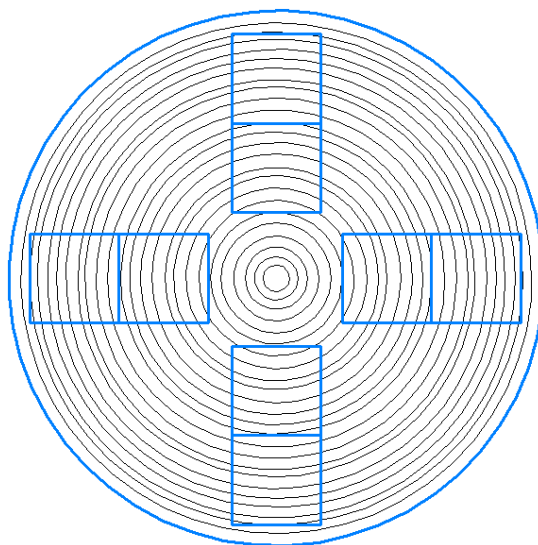


Рисунок 3.7 – Схема выпиливания образцов из чураков

3.4.1 Определение прочности при сжатии вдоль волокон

Для проведения опытов использовались образцы древесины с размерами $20 \times 20 \times 30$ мм, последний размер вдоль волокон, (рисунок 3.8). Далее производилась маркировка и измерение образцов в поперечном сечении: в радиальном (a) и тангенциальном (b) направлениях с помощью штангенциркуля. Точность измерения составляла $\pm 0,1$ мм. На технических весах определялась масса образцов с точностью $\pm 0,01$ г. Все данные фиксировались в протокол испытаний.

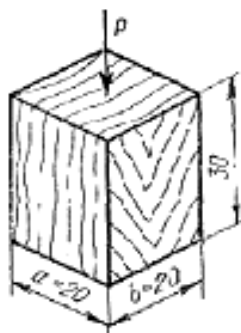


Рисунок 3.8 – Образец древесины для определения предела прочности при сжатии

Предел прочности при сжатии вдоль волокон σ_w , кгс/см², рассчитывался по формуле

$$\sigma_w = \frac{P_{max}}{a \cdot b}, \quad (3.4)$$

где P_{max} – максимальная нагрузка, кгс;

a – размер образца в радиальном направлении, мм;

b – размер образца в радиальном направлении, мм.

Для перевода полученной величины предела прочности древесины из размерности кгс/см² в МПа, используют следующее соотношение: 1 кгс/см² = 0,098 МПа. Полученное значение предела прочности древесины при сжатии вдоль волокон при установленном значении начальной влажности пересчитывалось для значения влажности 12 %. Пересчет выполнялся по следующей формуле

$$\sigma_{12} = \sigma_w \cdot [1 + \alpha \cdot (W - 12)] \quad (3.5)$$

где σ_w – предел прочности образца при сжатии вдоль волокон с влажностью в момент испытания, кгс/см²;

α – поправочный коэффициент на влажность, принятый для данного вида испытаний;

W – влажность образца в момент испытания, %.

В соответствие с ГОСТ 16183.10-73 поправочный коэффициент на влажность α принимают равным 0,04.

3.4.2 Определение прочности при статическом изгибе

Испытание выполнялось на разрывной машины марки Р-5. Схема расположения образца и направление приложения нагрузки приведены на рисунке 3.9. Испытания всех образцов проводилось в радиальном направлении.

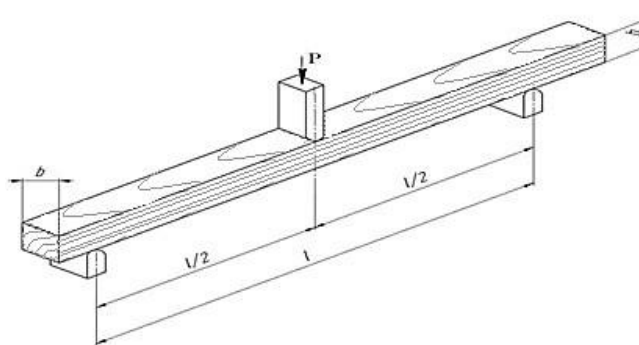


Рисунок 3.9 – Схема испытаний древесины на статический изгиб[135]

Предел прочности при статическом изгибе σ_w , МПа, вычислялся по формуле

$$\sigma_w = \frac{3 \cdot P_{max} \cdot L}{2b \cdot h^2}, \quad (3.6)$$

где P_{max} – максимальная нагрузка, которую выдерживает образец без разрушения, кгс;

L – расстояние между опорами, (в соответствии с ГОСТ16483.3-84 $L = 24$ см);

b – ширина образца, см;

h – высота образца (радиальное или тангенциальное направление), см.

Полученное значение предела прочности древесины при установленном значении начальной влажности пересчитывались для значения влажности 12 %. Пересчет выполнялся по формуле (3.8). При выполнении расчетов значение коэффициента α был принят равным 0,04.

$$\sigma_{12} = \sigma_w \cdot [1 + \alpha \cdot (W - 12)] \quad (3.7)$$

где σ_w – предел прочности образца при статическом изгибе с влажностью в момент испытания, кгс/см²;

α – поправочный коэффициент на влажность, принятый для данного вида

испытаний;

W – влажность образца в момент испытания, %.

3.4.3 Определение ударной вязкости при изгибе

Для проведения экспериментов использовались образцы со средними размерами 20×20×300 мм. Испытания выполнялись с помощью специального устройства – маятниково копра.

Перед проведением экспериментов образцы маркировались. С помощью штангенциркуля на середине каждого образца определялись его размеры в поперечном сечении, точность измерений составляла $\pm 0,1$ мм. На технических весах, с точностью $\pm 0,01$ г, определялась их начальная масса.

При разрушении образца, по полученным значениям угла на шкале копра по таблице определялась работа Q , Дж, затраченная на разрушение (излом) образца. Далее ударную вязкость древесины рассчитывали по формуле

$$A_w = \frac{Q}{b \cdot h}, \quad (3.8)$$

где A_w – ударная вязкость древесины при фактической влажности, Дж/см²;

Q – работа, затраченная на разрушение образца, Дж;

b – ширина образца, см;

h – высота образца, см.

Полученные значения ударной вязкости древесины при установленном значении начальной влажности W пересчитывалась для значения влажности 12 %. Пересчет выполнялся по формуле

$$A_{12} = A_w \cdot [1 + \alpha \cdot (W - 12)] \quad (3.9)$$

где A_w – ударная вязкость при изгибе с влажностью в момент испытания, Дж/см²;

α – поправочный коэффициент на влажность, равный 0,02;

W – влажность образца в момент испытания, %.

3.5 Микроскопические исследования

3.5.1 Исследование микростроения древесины в световом микроскопе

Для изучения особенностей микростроения древесины березы влияющих на качество ее пропитки, из чураков свежезаготовленной древесины были выпилены образцы размерами 20×20×100 мм (последний вдоль волокон). Полученные образцы были высушены до влажности 30%.

Для выявления зон годичного слоя, имеющих различную пропитываемость, высушенные образцы пропитывались кислотным красителем «Совелан М» коричневого цвета в автоклаве при давлении 0,2 МПа в течение одного часа. После пропитки образцы выдерживались в течение 24 часов при нормальных условиях для перераспределения красителя, после этого из центральной части окрашенных образцов выпиливались участки древесины размерами 20×20×20 мм по схеме (Рисунок 3.10) [136].

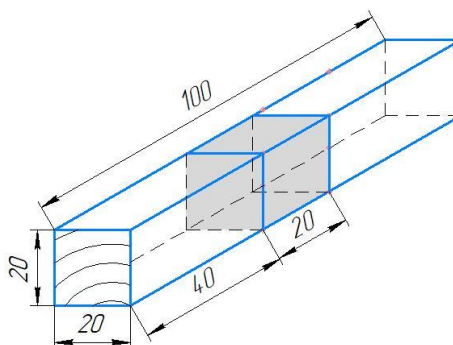


Рисунок 3.10 – Схема выпиливания образцов из пропитанной красителем древесины березы [136]

Из полученных образцов, имеющих неоднородное окрашивание, по ширине годичного слоя по стандартной методике [137-139] изготавливались поперечные микросрезы древесины, на которых при помощи микроскопа Микмед-5 и цифровой камеры DCM-310 производилось изучение особенностей распределения красителя в древесине [136].

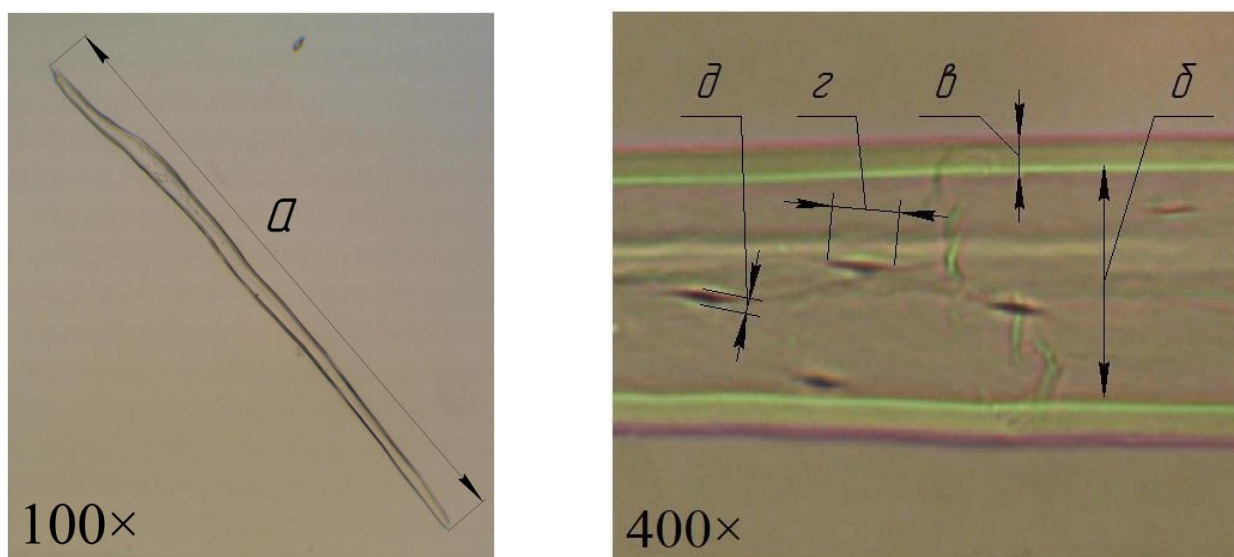
Для изучения анатомических особенностей строения элементов древесины березы локализованных в разных частях (по ширине) годичного слоя осуществлялась мацерация древесной ткани. Для этого из древесины березы выкалывались пластины размерами $1,5 \times 20 \times 20$ мм (направление тангенциальное×радиальное×вдоль волокон), из которых при помощи лезвия вырезались образцы древесины размерами $1,5 \times 1,0 \times 20$ мм (последний вдоль волокон) из неокрашенной и окрашенной зон годичного слоя. Затем производилась мацерация полученных образцов древесины. Для этого образцы помещали в пробирки, заливали смесью Шульце и кипятили пробирку на слабом огне в течение трех минут до разделения древесины на составляющие элементы (Рисунок 3.11). После кипячения раствор оставляли на один час, для того чтобы мацерированный материал осел на дно. Затем раствор сливали, а пробирку заполняли водой и повторяли замену воды несколько раз [140].



Рисунок 3.11 – Мацерация древесины березы

Изучение микростроения полученных древесных волокон из различных частей годичного слоя проводилось в проходящем свете с помощью микроскопа.

Для просмотра и обработки полученных фотографий микростроения анатомических элементов была использована программа ScopyFoto. Программа позволяла измерять линейные размеры изучаемых микрообъектов. В ходе микроскопических исследований были выполнены измерения таких параметров анатомических элементов как длина, диаметр полостей, толщина клеточных стенок, а также количество и размеры пор (Рисунок 3.12).



а – длина; б – диаметр полости; в – толщина клеточной стенки; г – высота поры; д – ширина поры

Рисунок 3.12 – Параметры измерения анатомического элемента[136]

3.5.2 Исследование микростроения с помощью сканирующего электронного микроскопа

Сканирующий электронный микроскоп Hitachi™ 1000(Рисунок 3.20) и приставка для элементного микроанализа SwiftED-TMEDX предназначены для исследования морфологии и химического состава поверхности твёрдых образцов(Рисунок 3.13).

Для исследования анатомических элементов побуревшей древесины березы по стандартной методике [137-139] изготавливались микросрезы древесины. При помощи микроскопа Hitachi TM-1000 и с энерго-дисперсионной приставки EDS-SWIFT производилось изучение состояния перфораций и полостей сосудов.

Изображение объекта формировалось последовательно по точкам и являлось результатом взаимодействия электронного пучка с поверхностью образца. Каждая точка образца последовательно облучалась сфокусированным электронным пучком, который перемещался по исследуемой поверхности подобно сканированию электронного луча в телевизионных системах. При взаимодействии электронов зонда с веществом возникали ответные сигналы различной физической природы, которые использовались для синхронного построения изображения на экране монитора [141].



Рисунок 3.13 – Электронный микроскоп TM-1000 с энерго-дисперсионной приставкой EDS-SWIFT

3.6 Идентификация доминирующих видов биологических агентов в древесине березы

Объектом исследования послужили образцы древесины березы с побурением и образцы древесины березы без побурения. Отбор образцов кернов

проводили с помощью возрастного бурава (Рисунок 3.14). Сверление проводили в направлении перпендикулярном продольной оси фрагмента дерева.



Рисунок 3.14 – Отбор образцов кернов

После забора образцов кернов желоб возрастного бурава промывали 95% этиловым спиртом, сверло бурава и экстрактор протирали ватой, смоченной 95% этиловым спиртом. Высверленные керны упаковывали в бумажные пакеты и помещали в холодильник. Далее образцы были отправлены в лабораторию, где их хранили в низкотемпературной морозильной камере при -70°C до экстракции ДНК (дезоксирибонуклеиновая кислота).

3.6.1 Выделение ДНК

В ходе проведенных исследований ДНК грибов выделялась непосредственно из тканей сухой древесины (в нескольких повторностях), а также из культур изолятов (в нескольких повторностях), полученных путем

проращивания на питательной среде с целью переноса биологического материала патогена из растительной ткани в условия *invitro*. Фрагменты кернов инкубировались в агаре Сабуро с глюкозой (Sabouraud Dextrose Agar, Hemedia США) и на среде Чапека в течение 5-7 дней при температуре 28 °С.

Экстракцию ДНК грибов проводили СТАВ методом [142]. Образцам присваивалась следующая сквозная нумерация: 1 – больное / агар Сабуро; 2 – больное / агар Сабуро; 3 – здоровое / агар Сабуро; 4 – здоровое / агар Сабуро; 5 – здоровое/среда Чапека; 6 – больное / среда Чапека; 7 – больное/древесина; 8 – здоровое/древесина.

3.6.2 Анализ полученной ДНК

Молекулярно-генетическую диагностику полученной ДНК проводили с применением двух методик: секвенирования и видоспецифической полимеразной цепной реакции.

3.6.2.1 Секвенирование

Данный метод генетических исследований основан на сочетании принципов полимеразной цепной реакции (ПЦР) с последующим прямым анализом нуклеотидной последовательности фрагментов ДНК на генетическом анализаторе. Проводимая на первом этапе ПЦР позволяет выявить полиморфизм в краевых областях локуса (местах посадки праймеров) [143-144]. Для установления видовой принадлежности изолятов грибов была проведена амплификация и секвенирование региона рДНК, включающего следующую последовательность локусов: 18S рРНК-ВТС1-5,8S-рРНК-ВТС2-28SpРНК [145]. В таблице 3.7 указаны праймеры, использованные для амплификации.

Таблица 3.7 – Праймеры, использованные для амплификации

Название праймера	Sequence (5'→3')	Ссылки
ITS1	TCCGTAAGGTGAACCTGCGG	Whiteetal. 1990
ITS4	TCCTCCGCTTATTGATATGC	Whiteetal. 1990

Критериями выбора данных маркеров явились: мультикопийность (обеспечивает высокую диагностическую способность ПЦР-анализа, т.е. вероятность идентификации искомого организма при его низкой концентрации ДНК); консервативность внутри вида; широкая изученность данных локусов и представленность информации об их нуклеотидной структуре в генетических базах данных и литературе.

Постановку ПЦР проводили с применением готовой смеси «GenePakPCRCore» (ООО «Лаборатория Изоген») согласно инструкции фирмы-производителя, при следующих параметрах реакции:

- 1 этап (1 цикл):

Денатурация $t = 4$ мин, $T = 96^{\circ}\text{C}$.

- 2 этап (30 циклов):

Денатурация $t = 1$ мин, $T = 96^{\circ}\text{C}$;

Отжиг $t = 30$ сек, $T = 60^{\circ}\text{C}$;

Элонгация $t = 2$ мин, $T = 72^{\circ}\text{C}$.

- 3 этап (1 цикл):

Финальная элонгация $t = 10$ мин, $T = 72^{\circ}\text{C}$;

Охлаждение реакционной смеси $t = 5$ минут, $T = 4^{\circ}\text{C}$.

Предварительный анализ продуктов амплификации был выполнен с помощью электрофоретического разделения фрагментов ДНК в 2% агарозном геле с использованием $1\times\text{TAE}$ буфера. Гель помещали в электрофоретическую камеру («Helicon»). Загрузочный раствор каждой дорожки состоял из 7 мкл образца ДНК. Электрофорез проводили при комнатной температуре в течение 2,5 часов при параметрах тока – 90 В/60 мА. Визуализация продуктов электрофореза

достигалась окрашиванием гелевых пластин в растворе бромистого этидия (0,5 мкг/мл) в течение 10 мин. Затем гель извлекался и промывался в дистиллированной воде для удаления остатков красителя. Для визуального наблюдения гель помещался в УФ-трансиллюминатор. Фотодокументирование продуктов электрофореза достигалось за счет видеосканирования в УФ-свете специальной системой Gel-Imager.

Для последующего секвенирования производили отбор ампликонов путем иссечения их из геля. Очистка фрагментов ДНК от геля проводилась в соответствии с протоколом набора реагентов «CleanupMini» (ЗАО «Евроген»). Секвенирующая реакция была выполнена на основании использования набора BigDyeTerminatorSequenceKitv.1.1 (AppliedBiosystems, США) согласно протоколу компании-изготовителя. Секвенирование фрагментов ДНК проведено с помощью генетического анализатора ABIPrism 310 (AppliedBiosystems, США). Анализ нуклеотидных последовательностей образцов производился с помощью программного обеспечения SequencingAnalysisv.6. (AppliedBiosystems, США)

Для установления (подтверждения) видовой принадлежности образцов нуклеотидная структура секвенированных ампликонов была проанализирована с помощью программы BLAST в GenBankNCBI (The National Center for Biotechnology Information - NCBI).

Данная электронная генетическая база данных, открытая для прямого доступа, содержит информацию по секвенированию данного региона рДНК, тем самым имеется возможность его сравнения с полученной при секвенировании нуклеотидной последовательностью анализируемых образцов.

3.6.2.2 Видоспецифическая ПЦР

Для более полного выявления доминирующих биологических агентов был применен метод использования специфических праймеров к определенным видам грибов. Данный тип идентификации основан на получении в ходе

ПЦР-ампликонов в определенных регионах рДНК и анализе их размера. Для исследования были выбраны специфические праймеры оригинального дизайна для определения основных биологических агентов (Таблица 3.8).

Таблица 3.8 – Видоспецифические праймеры

Название	Sequence (5'→3')	Длина ампликона	Определяемый вид/род	Ссылка
AMEL3 ITS4	TTGCTTGCTTACGAGCT AAG TCCTCCGCTTATTAGATA TGC	631 п.о.	Armillariamellea(опенок осенний)	Guglielmo,2007
Gano2R ITS1	TATAGAGTTTGTGATAA ACGCA TCCGTAGGTGAACCTGCGG	226-228 п.о.	Ganodermaspp. (трутовик)	Guglielmo,2007 Whiteetal. 1990
Hyme2R F115	TGCDCCCCCTYGC GGAG TAAGCGACCCGTCTTGA AAC	111 п.о.	Inonotus/Phellinus* (трутовики)	Guglielmo,2007
FoF F ITS2	TTACAAACTATTGAAGT AACAG GCTGCGTTCTTCATCGATGC	216 п.о.	Fomesfomentarius (трутовик настоящий)	Guglielmo,2007 Whiteetal. 1990
HetF HetR	5GGCGGCACCACAAGGG TCTC CCGAGCCGCGTCTTCTC ACA	346 п.о.	Heterobasidionannosum(корневая губка)	Shuvaev, 2016

*Примечание: для диагностики представителей двух родов *Inonotus* и *Phellinus* использовали праймеры Hyme2R и F115 в рамках одной тест-системы в связи с общностью паразитирования и наличием сходной ITS-области, не позволяющей различать представителей рода отдельно.

Постановку ПЦР проводили с применением готовой смеси «GenePakPCRCore». Режим амплификации для праймеров HetF и HetR был

следующим: первоначальная стадия денатурации при 95°C в течение 5 мин, затем 32 цикла, каждый из которых включал 3 этапа: денатурацию при 95°C в течение 15 с, отжиг при 62°C – 20 с, элонгацию при 72°C – 1 мин. Последние стадии – элонгация при 72°C – 3 мин и хранение при 4°C. Для остальных праймеров использовалась следующая программа амплификации:

- 1 этап (1 цикл):

Денатурация $t = 5$ мин, $T = 95^{\circ}\text{C}$.

- 2 этап (35 циклов):

Денатурация $t = 45$ сек, $T = 94^{\circ}\text{C}$;

Отжиг $t = 30$ сек, $T = 50\text{-}60^{\circ}\text{C}$;

Элонгация $t = 45$ сек, $T = 72^{\circ}\text{C}$.

- 3 этап (1 цикл):

Финальная элонгация $t = 10$ мин, $T = 72^{\circ}\text{C}$;

Охлаждение реакционной смеси $T = 4^{\circ}\text{C}$.

Электрофорез проводили в 2% агарозном геле с использованием 1×TAE буфера при комнатной температуре в течение 1 ч. 30 мин. при параметрах тока 90 V/60 мА. Окраска гелей производилась в растворе бромистого этидия в течение 10 мин. Визуализация продуктов ПЦР достигалась за счет просматривания окрашенных в бромистом этидии гелей в УФ-свете. Объем вносимого образца – 7 мкл. В качестве маркера молекулярных масс использовался ThermoScientific™ GeneRuler™ 50 bpDNA Ladder (6×).

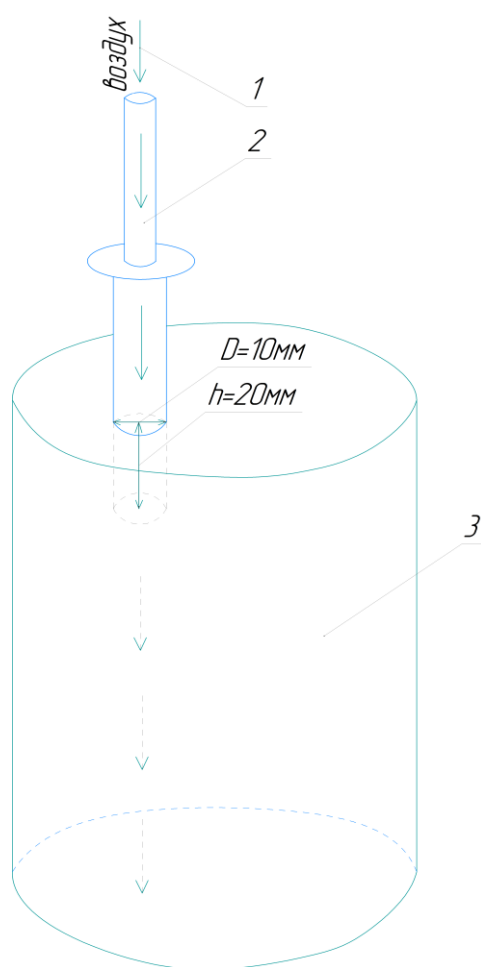
Интерпретация результатов анализа в данном случае сводилась к регистрации наличия (+) или отсутствия (–) специфических полос на электрофореграмме в определенном диапазоне молекулярного веса, т. е. наличие генетического материала грибов в образцах.

3.7 Формирование проницаемых участков древесины

В целях исследования факторов, влияющих на продолжительность

продувки древесины воздухом, заготавливались шесть круглых неокоренных сортиментов древесины березы длиной 200 мм, 500 мм, 800 мм и диаметром 16-18 см.

Затем через иньектор под давлением 0,2 МПа, 0,4 МПа и 0,6 МПа в торец сортимента подавался сжатый воздух (Рисунок 3.15). Далее осуществлялась продувка сортиментов сжатым воздухом. Подача воздуха прекращалась в момент выхода воздуха из противоположного торца сортимента.



1 – направление продувки; 2 – иньектор; 3 – образец древесины березы

Рисунок 3.15 – Продувка древесины воздухом

Факторы процесса удаления свободной влаги из древесины сжатым воздухом, оказывающие влияние на продолжительность продувки, представлены

в виде входных факторов X и выходных параметров Y в таблице 3.9. Математическая обработка выполнялась с помощью программы *STATGRAPHICS®Centurion*.

В таблице 3.10, согласно плану эксперимента, показаны уровни и шаги варьирования исследуемых факторов.

Таблица 3.9 – Факторы двухфакторного эксперимента

Параметр	Обозначение	
	натуральное	нормализованное
Входные управляемые факторы		
Давление воздуха, МПа	P	X_1
Длина сортимента, мм	l	X_2
Выходной параметр		
Продолжительность продувки, сек	τ	Y_1

Таблица 3.10 – Уровни и шаги варьирования исследуемых факторов

Фактор	Обозначение	Шаг варьирования фактора	Уровень варьирования фактора		
	натуральное		$X^{(-1)}$	$X^{(0)}$	$X^{(+1)}$
Давление воздуха, МПа	P	0,2	0,2	0,4	0,6
Длина сортимента, мм	l	300	200	500	800

ГЛАВА 4. РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

При проведении экспериментальных исследований ставились следующие задачи:

- определение параметров выдержки древесины березы для формирования непроницаемых участков с помощью побурения;
- определение влияния побурения на физико-механические показатели древесины;
- микроскопическое исследование состояния проводящих элементов древесины с побурением;
- определение видового состава грибов в древесине с побурением;
- определение возможности создания локально проницаемых участков в древесине березы с побурением.

4.1 Результаты предварительных экспериментов определения параметров выдержки древесины березы

Согласно литературным источникам, побурение древесины начинается при ее рубке в теплое время года, при снижении влажности древесины ниже 79%. Тогда скорость протекания побурения в древесине составляет около 30 см в месяц [75]. В целях определения параметров выдержки для формирования побурения и факторов, влияющих на данный процесс, было принято решение провести серию экспериментов.

Выдержка образцов древесины березы проводилась при температуре воздуха в помещении от 22 °С до 25 °С, и относительной влажности воздуха около 40 %. Ограничение испарения влаги с торцевой поверхности образцов производилось при помощи полиэтиленовой стретч-пленки.

При распиловке образцов было обнаружено неравномерное распределение побурения в виде окрашенных и неокрашенных пламевидных участков от торцов, которые не сомкнулись в центре (Рисунок 4.1).



Рисунок 4.1 – Побурение образца древесины березы выдержанного в комнатных условиях

Изоляция торцов несколькими слоями стретч-пленки привела к активному накоплению конденсата между стретч-пленкой и древесиной и крайне медленному испарению влаги из древесины. Поскольку на процесс побурения влияет скорость высыхания древесины[146], по-видимому, это и стало причиной неравномерного протекания побурения.

Для равномерного и гарантированного протекания побурения внутри древесины было решено создать такие условия, которые бы обеспечили стабильную температуру воздуха длительное время и контролируемую влажность воздуха с постепенным ее снижением.

4.2 Результаты выдержки древесины в контролируемых заданных условиях

На основании результатов предварительных экспериментов выдержки древесины в комнатных условиях, было решено исследовать протекание побурения древесины в зависимости от режимных параметров выдержки в контролируемых заданных условиях, а именно при температуре 30 °С и

влажности воздуха от 90 % до 60 %. Исследование протекания процесса побурения в контролируемых условиях позволило определить следующее.

При распиливании образцов на 5 сутки выдержки развитие побурения в древесине выявлено не было, что подтверждает литературные данные о проявлении побурения через 1-2 недели [76-78]. Наблюдался лишь небольшой приторцовый участок бурого цвета длиной вдоль волокон менее 5 мм (Рисунок 4.2). На 10 сутки выдержки в термостате при вскрытии образцов было зафиксировано, что фронты побурения в древесине практически сомкнулись, но в центральной части образцов наблюдались участки с отсутствием побурения (Рисунок 4.3). На 15 сутки выдержки в термостате побурение наблюдалось по всей длине образцов (Рисунок 4.4) [147].

Помимо наблюдения за продвижением побурения древесины определялось изменение влажности по длине образцов. Распределение влажности древесины с побурением 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 % (Рисунок 4.5) [147].



Рисунок 4.2 – Побурение древесины березы после выдержки в термостате в течении 5 суток [147]

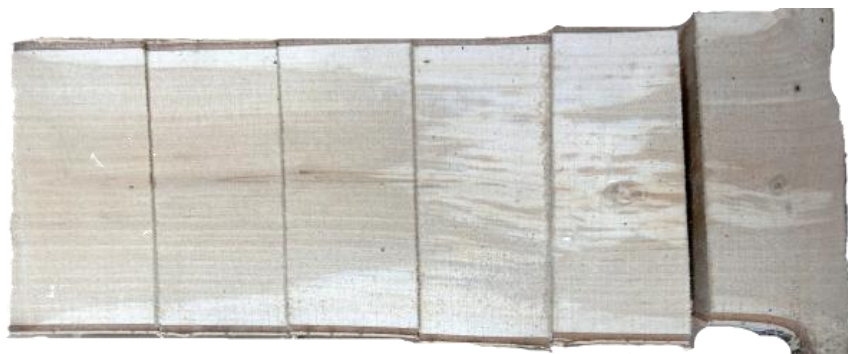


Рисунок 4.3 – Побурение древесины березы после выдержки в термостате в течение 10 суток [147]



Рисунок 4.4 – Побурение древесины березы после выдержки в термостате в течении 15 суток [147]



Рисунок 4.5 – Распределение влажности чурака [147]

За 15 суток выдержки влажность образцов снизилась почти в 1,7 раза. При рассмотрении послойной влажности образцов предсказуемо наиболее низкая влажность древесины наблюдалась в приторцовой зоне 33-35,2 %, а наиболее высокая в центральной части образца 43-41,5 %.

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 суток при температуре 30 °С и влажности воздуха 75 %.

4.3 Определение параметров снижения проницаемости древесины березы вдоль волокон

4.3.1 Газопроницаемость древесины березы с побурением

Ранее было установлено [71], что побурение существенно снижает проницаемость древесины березы. Поэтому было решено исследовать газопроницаемость древесины березы после выдержки в заданных условиях. Результаты исследований проницаемости древесины представлены в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Показатели коэффициента газопроницаемости древесины березы

Группа образцов	Количество испытаний образцов, шт	Среднее значение, м ³ /с·МПа	Среднее квадратичное отклонение	Точность, %	Коэффициент вариации, %
Древесина с побурением	40	0,07 ±0,01	0,01	3,54	12,39
Здоровая древесина	40	0,69 ±0,09	0,06	4,34	8,80

Из полученных результатов видно, что развитие побурения в древесине обеспечивает девятикратное снижение ее газопроницаемости в сравнении с контролем (Рисунок 4.6) [147, 148].

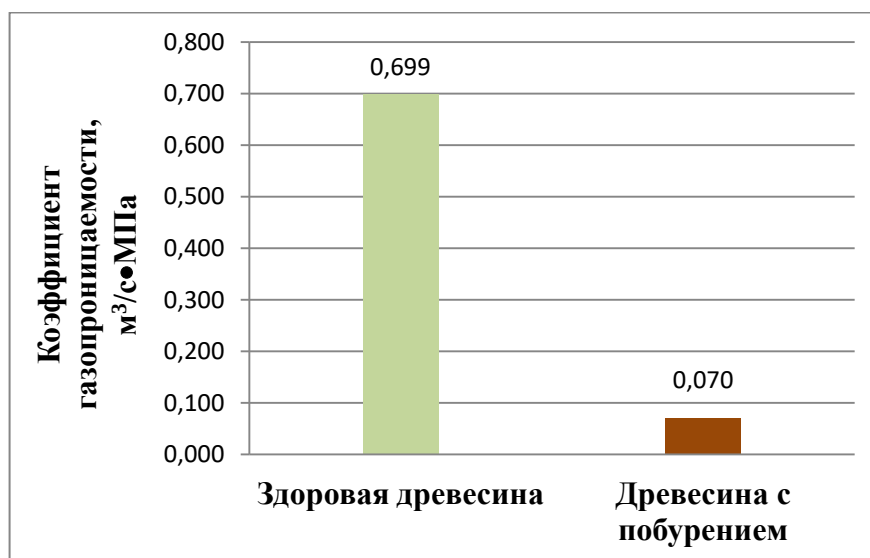


Рисунок 4.6 – Коэффициент газопроницаемости древесины березы [147, 148]

4.3.2 Исследование проницаемости жидкостями древесины березы с побурением

Помимо проверки на газопроницаемость, древесину с побурением было решено пропитать окрашивающим раствором и проверить количество поглощенного раствора. Для этого шесть образцов размерами 30×50×150 мм (последний вдоль волокон) древесины березы с побурением, пропитывались кислотным красителем «Совелан М» синего цвета в автоклаве при давлении 0,6 МПа в течение 30 минут. В качестве контроля выступали образцы из свежезаготовленной древесины березы в количестве шести штук аналогичных размеров.

Опытная пропитка раствором красителя также подтвердила низкую проницаемость древесины березы с побурением (Рисунок 4.7).



Рисунок 4.7 – Пропитанный текстильным красителем в автоклаве образец древесины березы с побурением (режим: $P=0,6$ МПа; $\tau=30$ мин; поглощение раствора 16%)

На рисунке 4.7 можно наблюдать границу проникновения красителя в древесину. Глубина продвижения окрашивающего раствора вдоль волокон не превышала 2 мм, но в некоторых местах краситель проник вглубь на расстояние до 15 мм [147].

Перед пропиткой и после пропитки образцы взвешивались для определения водопоглощения. В среднем водопоглощение древесины с побурением составило 16 %. Поглощение раствора контрольным образцом древесины березы аналогичных размеров составило 116,68 %.

4.4 Результаты механических испытаний

Из литературных данных [75] известно, что побурение существенно не влияет на механические свойства древесины. Исследование механических свойств древесины с побурением показало следующее.

В среднем, предел прочности при сжатии вдоль волокон образцов из древесины с побурением составил 59,39 МПа, а предел прочности при сжатии

вдоль волокон здоровой древесины, взятой в качестве контроля, составил 60,2 МПа (Рисунок 4.8).

Среднее значение предела прочности при статическом изгибе образцов из древесины с побурением составил 70,3 МПа, что на 10,3% ниже предела прочности при изгибе здоровой древесины (Рисунок 4.9).

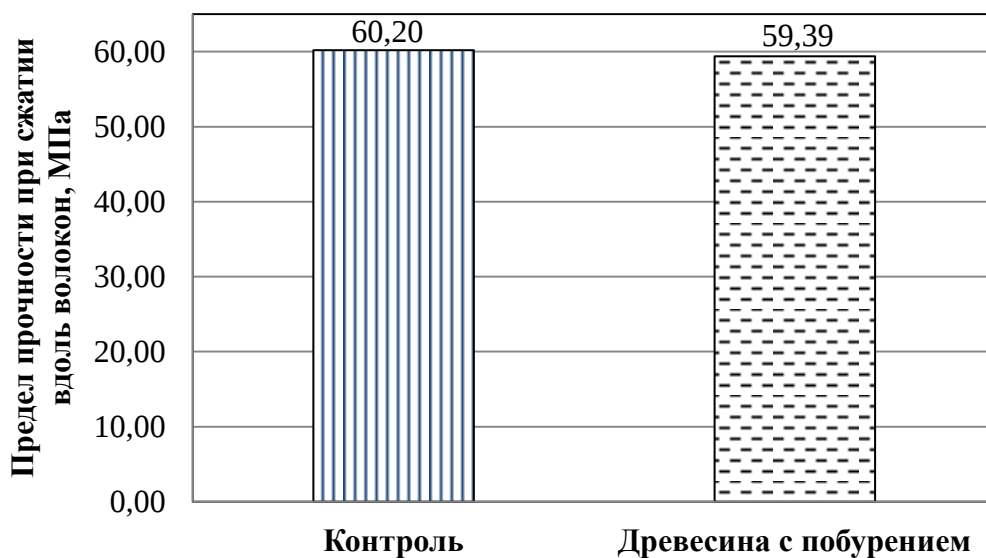


Рисунок 4.8 – Значение предела прочности при сжатии образцов вдоль волокон

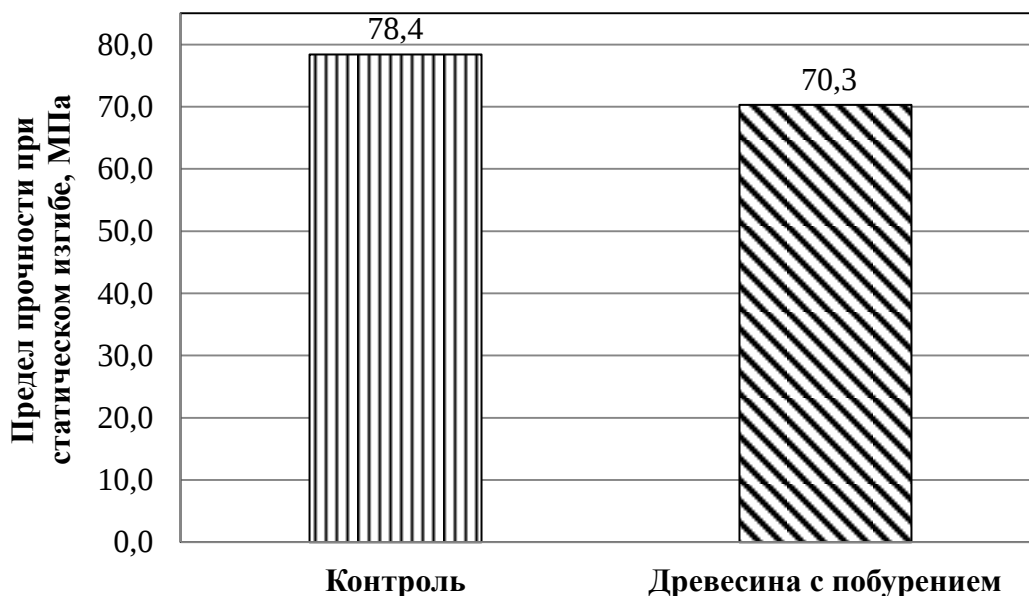


Рисунок 4.9 – Значение предела прочности при статическом изгибе

Исследование ударной вязкости при изгибе показало снижение среднего значения показателя у древесины с побурением на 10,8 %, по сравнению с контролем. Среднее значение ударной вязкости при изгибе составило 7,38 Дж/см², а у здоровой древесины (контроль) составило 8,28 Дж/см² (Рисунок 4.10).

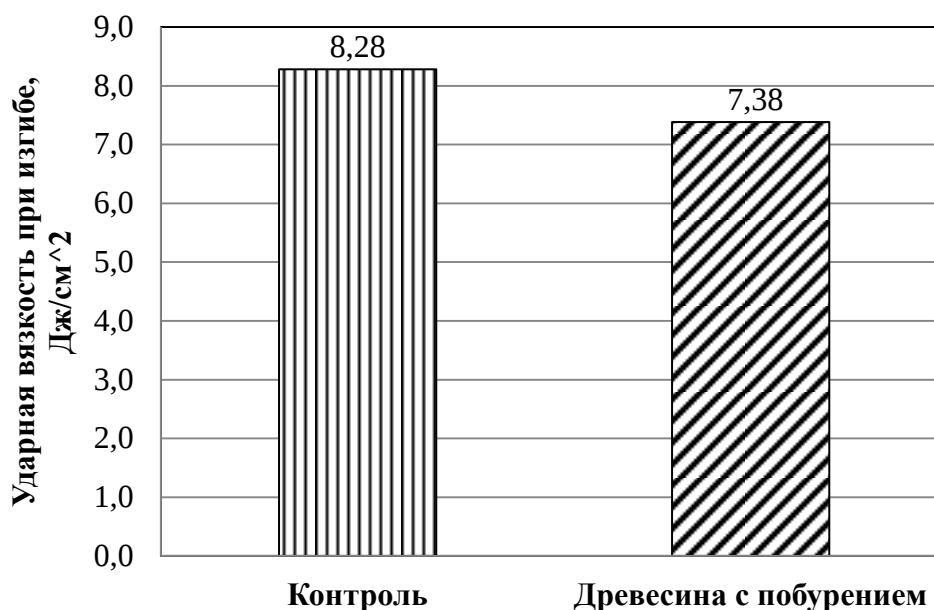


Рисунок 4.10 – Значение ударной вязкости при изгибе

4.5 Результаты микроскопических исследований проводящих элементов древесины березы после побурения

4.5.1 Исследование влияния анатомического строения древесины березы на проницаемость жидкостями

Большое значение при разработке режимов пропитки и сушки древесины имеет проницаемость, которая определяет ее способность проводить жидкости или газы под давлением. Проницаемость древесины зависит от анатомических элементов, которые выполняют водопроводящую функцию, и также степени проводимости перфораций и пор, соединяющих эти элементы в единую систему [136].

Поскольку формирование текстуры древесины березы предполагает ее пропитку красящими составами, нами были проведены опытные пропитки образцов древесины березы текстильным красителем. В ходе экспериментов при сквозной пропитке березовой древесины наблюдалась неравномерная локализация пропиточного состава по ширине годичного слоя, связанная, по-видимому, с особенностями анатомического строения древесины. При пропитке древесины в объемной фазе пропитывающий состав проходит по проводящим элементам. Основными водопроводящими элементами березы, являются сосуды, которые практически не видны невооруженным глазом.

Для выявления причин неравномерной локализации пропиточного раствора, было принято решение исследовать особенности анатомического строения древесины березы по ширине годичного слоя.

Изучение поперечных разрезов образцов пропитанных красителем выявило следующие особенности распределения пропиточного раствора в образцах древесины (Рисунок 4.11).

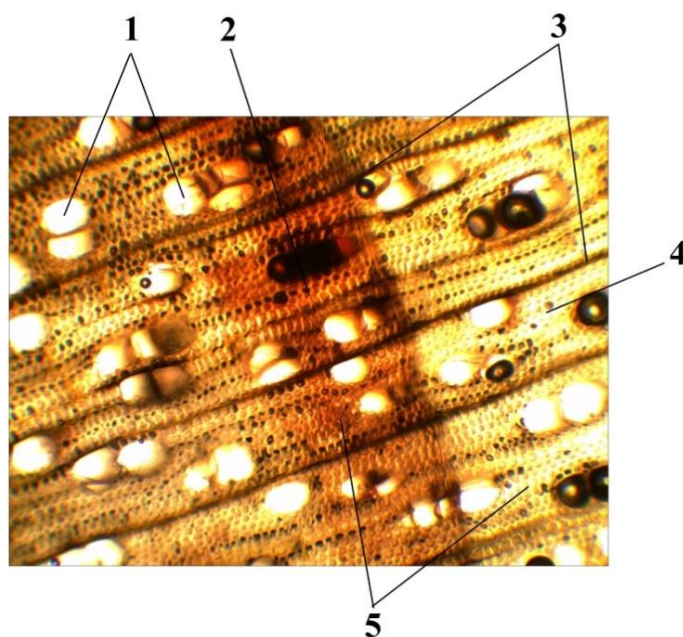


Рисунок 4.11 –Поперечный срез образца окрашенной древесины березы [136]

В образцах наблюдалось сквозное проникновение пропиточного раствора по всему сечению материала. При этом было отмечено, что $\frac{5}{6}$ ширины годичного слоя расположенной ближе к центральной части ствола имело бледную

равномерную окраску, в то время как оставшаяся $\frac{1}{6}$ ширины годичного слоя, расположенная ближе к внешней части ствола, имела более тёмную насыщенную окраску. По внешнему виду окрашенная древесина напоминала хвойную древесину с четко выраженным делением годичного слоя за счет различной окраски древесины. Поэтому, для удобства дифференциации участков годичного слоя, было принято решение условно обозначить основную неокрашенную часть годичного слоя как «ранняя зона», а окрашенную внешнюю часть годичного слоя как «позднюю».

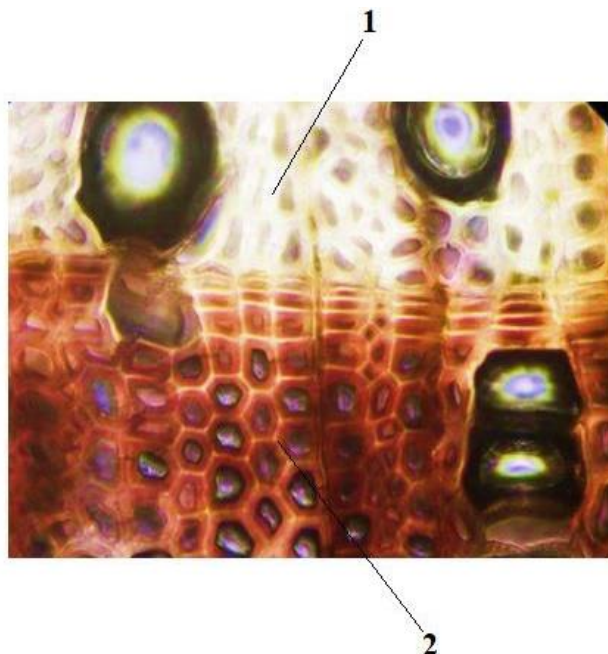
Из частей годичного слоя, имеющих разную интенсивность окраски, по стандартной методике были изготовлены поперечные микросрезы древесины (Рисунок 4.12), которые позволили выявить следующее. В рамках условных «ранней» и «поздней» зон годичного слоя было отмечено, что сосуды обеих зон имеют окрашенные полости.



1 – сосуды; 2 – окрашенная «поздняя» зона годичного слоя; 3 – окрашенные сердцевинные лучи; 4 – «ранняя» зона годичного слоя; 5 – волокнистые элементы

Рисунок 4.12 – Поперечный микросрез окрашенной древесины березы (Ув. 40×)

При этом в «поздней» зоне, в отличие от «ранней», помимо окрашенных сосудов краситель проник в прилегающие волокнистые элементы и окрасил их (Рисунок 4.13). Именно поэтому «поздняя» зона приобрела более темную окраску, в сравнении с «ранней». Сердцевинные лучи также окрасились в темный цвет.



1 – «ранняя» зона годичного слоя; 2 – «поздняя» зона годичного слоя

Рисунок 4.13 – Поперечный микросрез окрашенной древесины березы (Ув. 100×)

С учетом наблюдаемой неоднородной локализации пропиточного раствора по ширине годичного слоя, было выдвинуто предположение, что неравномерное пропитывание годичного слоя обусловлено отличием в строении волокнистых трахеид (основного волокнистого элемента березы) «ранней» и «поздней» зоны [136].

Для проверки выдвинутого предположения были проведены исследования особенностей анатомического строения волокнистых элементов древесины березы из «ранней» и «поздней» зоны годичного слоя. Результаты исследований представлены в таблице 4.2 и на рисунках 4.14-4.20.

Таблица 4.2 – Особенности анатомического строения волокнистых трахеид древесины березы

Показатель	Количество измерений	Среднее значение	Среднее квадратичное отклонение	Точность, %	Коэффициент вариации, %
«ранняя» зона					
Длина, мкм	30	878,78 ±53,87	144,28	2,99	16,42
Диаметр полости, мкм	114	19,32±1,19	6,42	3,11	33,21
Толщина клеточной стенки, мкм	128	3,43±0,18	1,02	2,62	29,61
Ширина поры, мкм	30	1,36±0,11	0,30	4,07	22,34
Высота поры, мкм	142	5,99±0,23	1,38	1,94	23,07
Количество пор, шт	16	36±3	6,36	4,41	17,64
«поздняя» зона					
Длина, мкм	30	935,64 ±55,69	149,15	2,91	15,94
Диаметр полости, мкм	114	26,07±1,75	9,43	3,39	36,16
Толщина клеточной стенки, мкм	128	6,52±0,35	2,03	2,75	31,10
Ширина поры, мкм	30	1,53±0,09	0,256	3,07	16,86

Продолжение таблицы 4.2

Показатель	Количество измерений	Среднее значение	Среднее квадратичное отклонение	Точность опыта, %	Коэффициент вариации, %
«поздняя» зона					
Высота поры, мкм	142	4,34±0,27	1,63	3,16	37,66
Количество пор, шт	16	43±4	7,80	4,50	18,00

Анализ полученных данных показал, что по ряду рассматриваемых характеристик волокнистые трахеиды из частей годичного слоя, имеющих разную интенсивность окраски, имеют отличия.

Трахеиды, располагающиеся в «поздней» зоне годичного слоя, имеют диаметры полостей больше в сравнении с «ранней» почти на 26% (t-критерий Стьюдента = 6,31). Среднее значение диаметра полости волокнистых трахеид «поздней» зоны составило – 26,07 мкм, а «ранней» – 19,32 мкм (Рисунок 4.14).

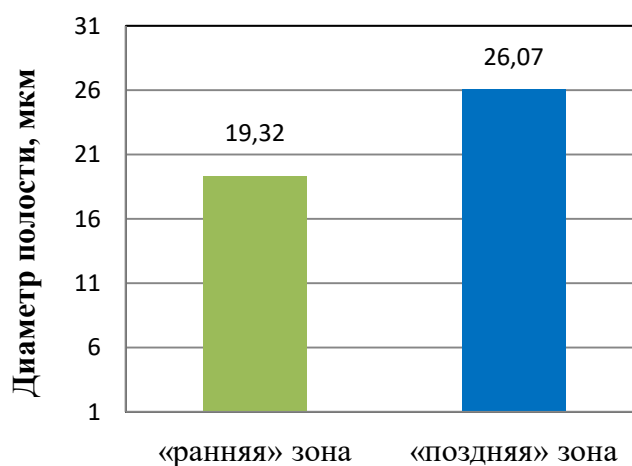


Рисунок 4.14–Среднее значение диаметра полости волокнистых трахеид [136]

Существенно различаются волокнистые трахеиды «ранней» и «поздней» зоны и по толщине клеточных стенок. Среднее значение толщины клеточной стенки волокнистых трахеид «ранней» зоны – 3,43 мкм, а «поздней» зоны – 6,52 мкм (Рисунок 4.15), на 47% процентов больше «ранней» (t-критерий Стьюдента = 15,41)[136].

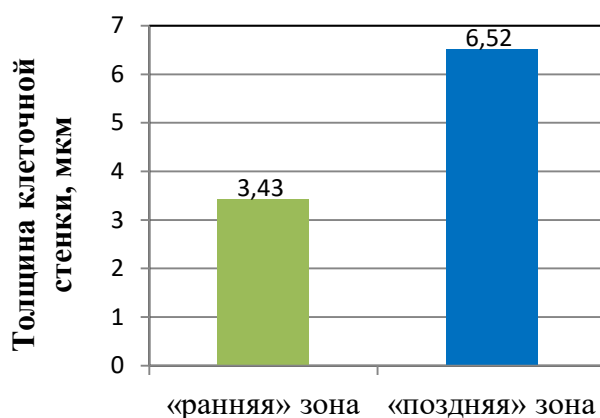


Рисунок 4.15 – Среднее значение толщины клеточной стенки волокнистых трахеид [136]

Также были отмечены различия в таком важном для проницаемости элементе строения клеточной стенки древесины как межклеточные поры. Поскольку у волокнистых трахеид поры имеют вытянутую щелевидную форму, то измерение производилось в двух взаимно перпендикулярных направлениях по высоте и ширине каналов. Средние значения измерений ширины пор показали, что в «поздней» зоне поры имеют ширину на 11,1% больше, чем в «ранней» (t-критерий Стьюдента = 2,40). Среднее значение ширины пор «поздней» зоны – 1,53 мкм, а «ранней» зоны – 1,36 мкм (Рисунок 4.16). В то время как по высоте размер пор «ранней» зоны оказался больше «поздней» почти на 27,5% (t-критерий Стьюдента = 9,24). Среднее значение высоты пор «поздней» зоны – 4,34 мкм, а «ранней» зоны – 5,99 мкм (Рисунок 4.17).

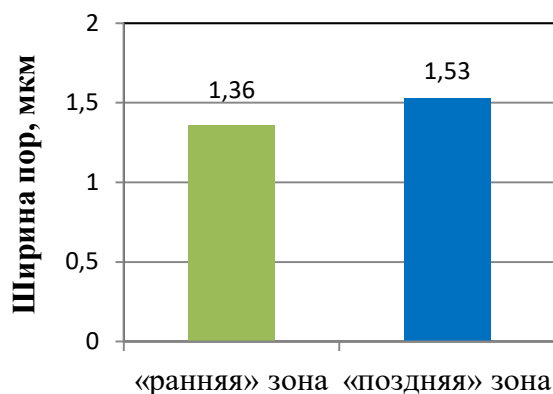


Рисунок 4.16 – Среднее значение ширины пор волокнистых трахеид [136]

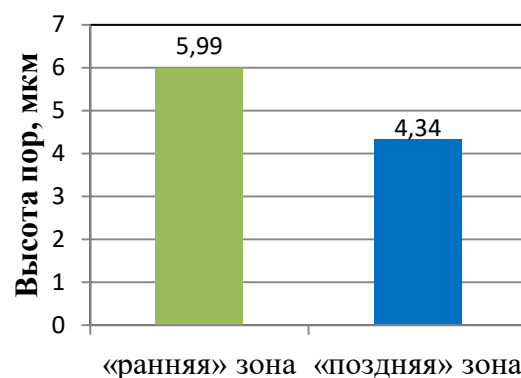


Рисунок 4.17 – Среднее значение высоты пор волокнистых трахеид [136]

Следует отметить, что использованный при исследованиях раствор текстильного красителя «Совелан» при нормальных условиях пропитки является не истинным, а коллоидным. Поэтому частицы красителя могут проникать не через любые поры, а только через те, размеры которых обеспечивают такой перенос. Учитывая щелевидную форму пор волокнистых трахеид березы, размером определяющим возможность переноса частиц красителя является их ширина. Исходя из полученных данных, можно предположить, что в «поздней» зоне ширина пор обеспечивает перенос красителя, а в «ранней» происходит его отфильтровывание.

Помимо размеров пор также производился подсчет их количества в клеточных стенках волокнистых трахеид. Было установлено, что количество пор у трахеид сформировавшихся в «поздней» зоне на 17% выше (t-критерий Стьюдента = 2,90) в сравнении с «ранней» зоной (Рисунок 4.18). Вместе с тем отмечалась значительная вариация данного показателя от элемента к элементу, как в «ранней», так и в «поздней» зоне. Количество пор в одном анатомическом элементе варьировало от 21 до 88 штук (Рисунок 4.19).

Кроме описанных выше показателей строения древесины, имеющих достоверные различия, исследовалась и длина волокнистых трахеид. Однако по длине различие анатомических элементов не подтвердилось, отмечена лишь

тенденция, что средняя длина несколько больше в «поздней» зоне. Среднее значение длины волокнистых трахеид «поздней» зоны – 935,64 мкм, «ранней» зоны – 878,78 мкм (Рисунок 4.20).

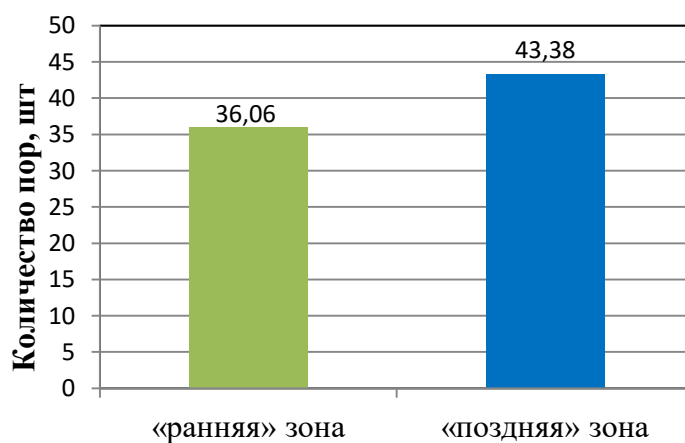
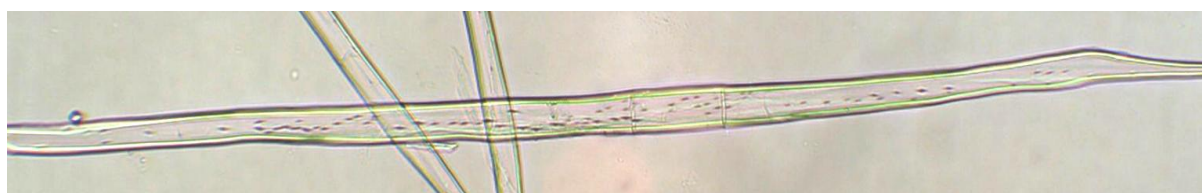
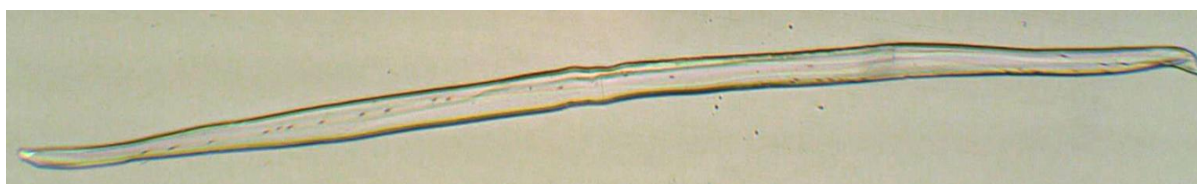


Рисунок 4.18 – Среднее значение количества пор волокнистых трахеид [136]



(а)



(б)

а – «поздняя» зона; б – «ранняя» зона

Рисунок 4.19 – Волокнистые трахеиды древесины березы (Ув. 100×) [136]

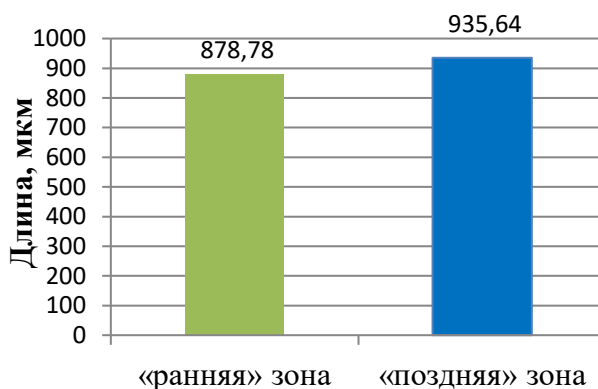


Рисунок 4.20 – Среднее значение длины волокнистых трахеид [136]

4.5.2 Результаты исследования состояния проводящих элементов древесины

Для выявления причин снижения проницаемости после побурения древесины березы, было принято решение исследовать состояние проводящих элементов – сосудов с помощью сканирующей электронной микроскопии.

Среди всех разработанных методов, сканирование с помощью электронного микроскопа является одним из самых результативных методов, позволяющих проводить очень детальные исследования структуры древесины при высоком увеличении [149].

Исследование снимков образцов древесины березы с побурением и образцов древесины березы, взятых из участков, подготовленных к пропитке с помощью продувки воздухом (контроль) выявило следующее.

На снимках образцов древесины, взятых из участков предварительно продутых воздухом (контроль) было отмечено, что лестничные перфорации и полости сосудов не имели каких-либо изменений (Рисунок 4.21). Раневая реакция на данных участках древесины не прошла.

Лестничные перфорации сосудов образцов древесины с побурением покрыты «пленкой» (Рисунок 4.22-4.23), схожим с фибриллярным материалом, упомянутым в работах [102]. Перфорация сосудов не изменена. Помимо этого, в

полостях сосудов обнаружены гифы грибов (Рисунок 4.24-4.25). На рисунке 4.26 зафиксированы грибные гифы со спорами.

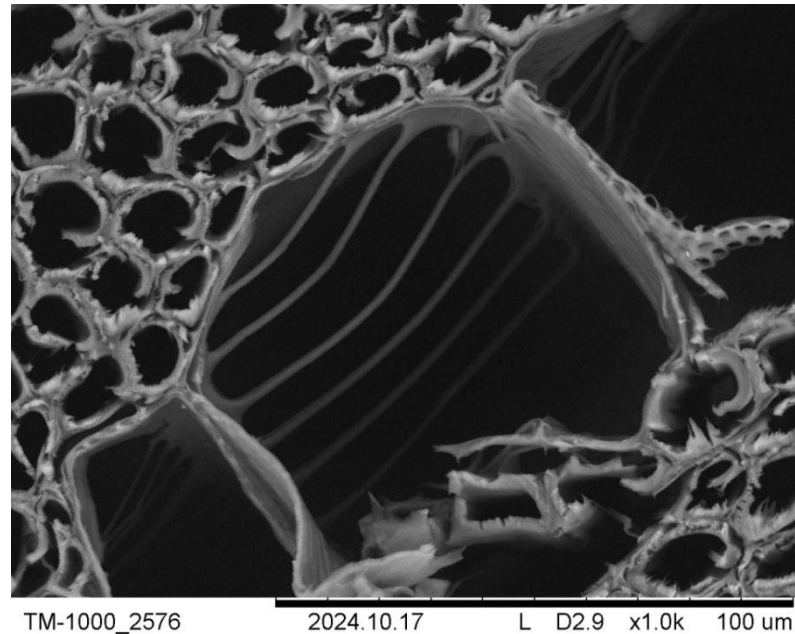


Рисунок 4.21 – Лестничная перфорация древесины березы без побурения (контроль) (Ув. 1.0k×)

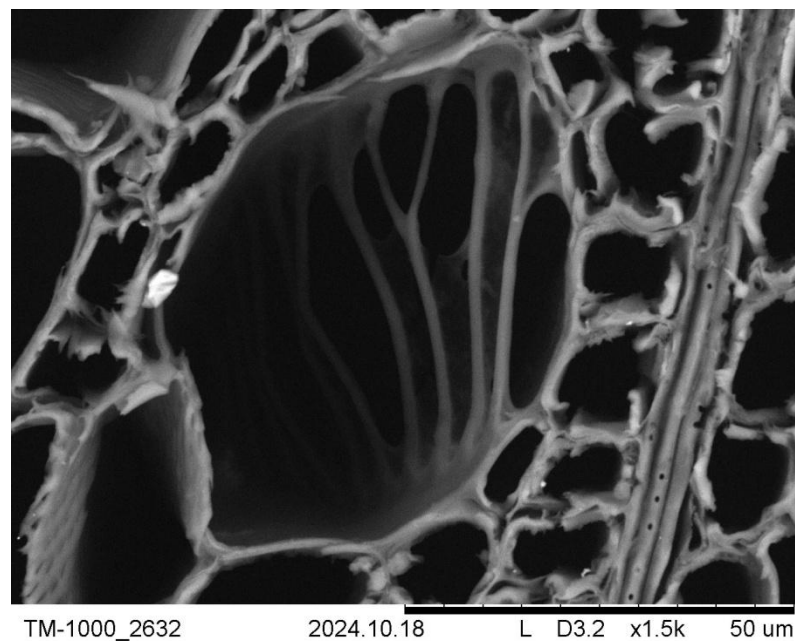


Рисунок 4.22 – Лестничная перфорация сосуда древесины березы с побурением (Ув. 1.0k×)

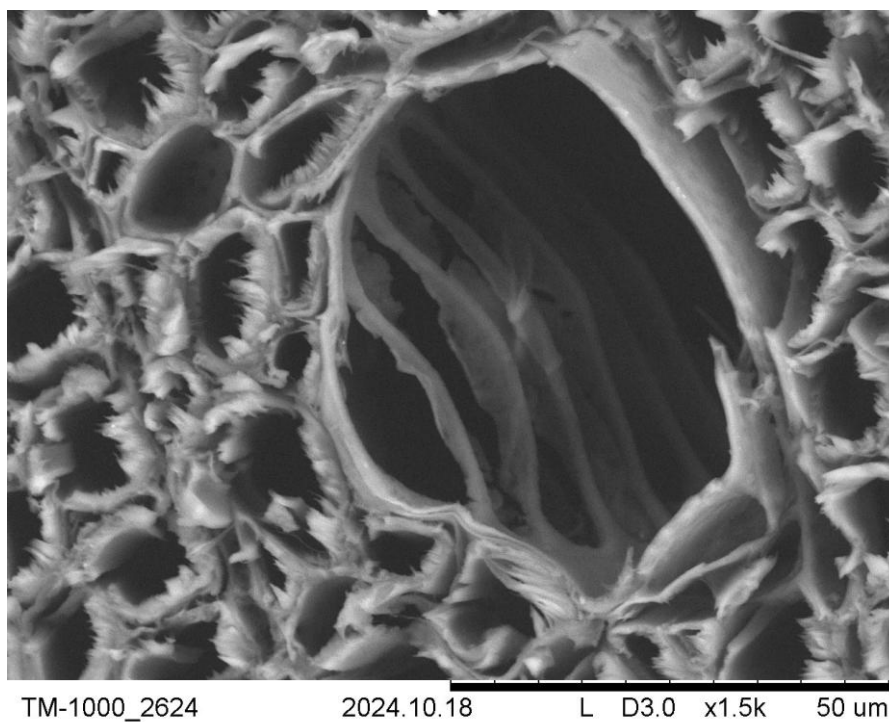


Рисунок 4.23 – Лестничная перфорация сосуда древесины березы с побурением
(Ув. 1.0k×)

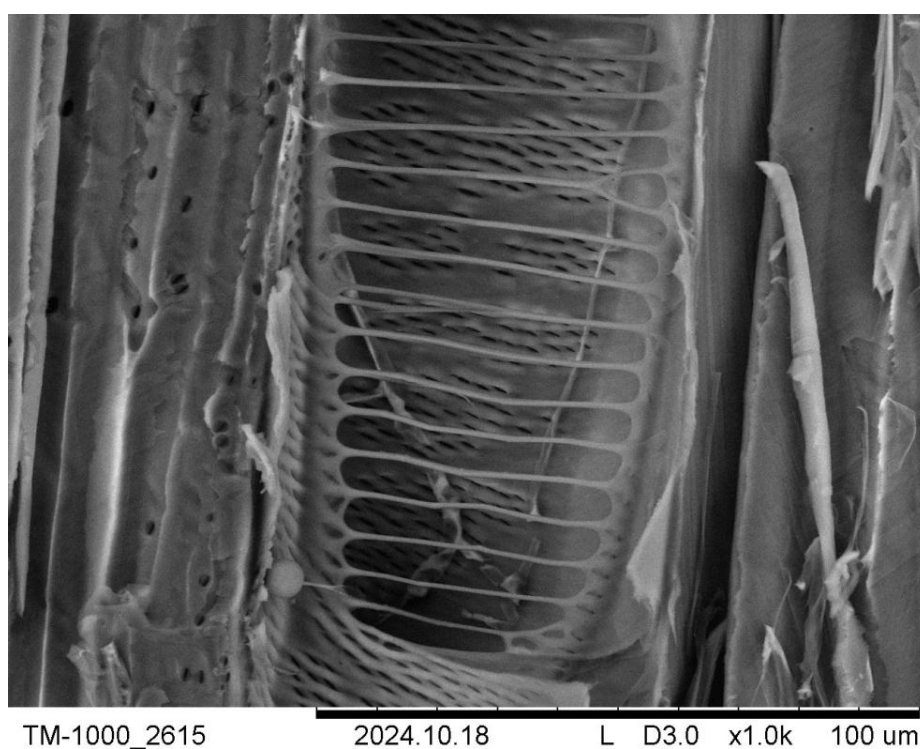
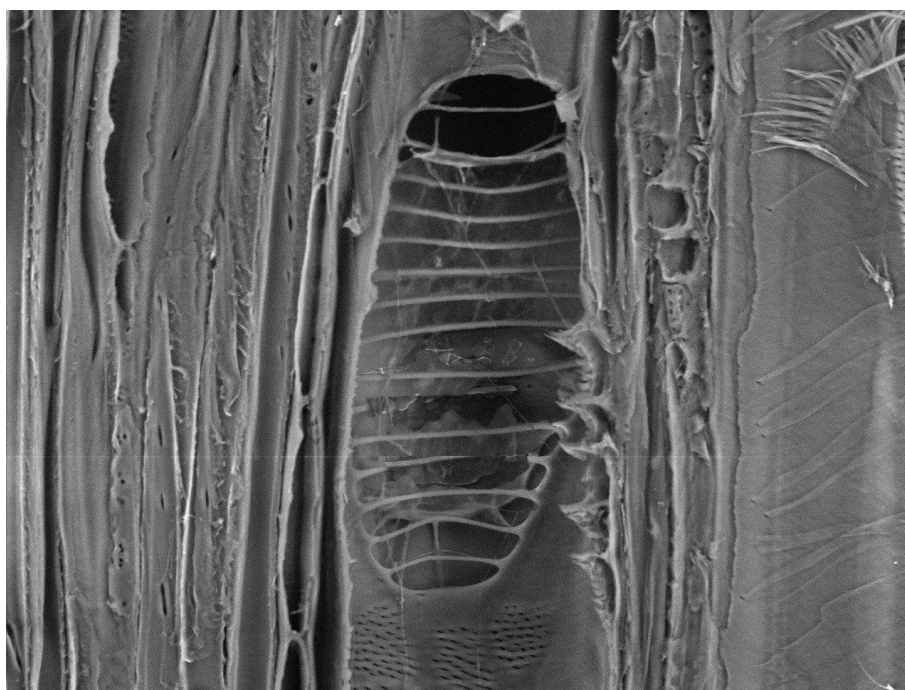


Рисунок 4.24 – Грибные гифы в полости сосуда древесины с побурением (Ув.
1.0k×)

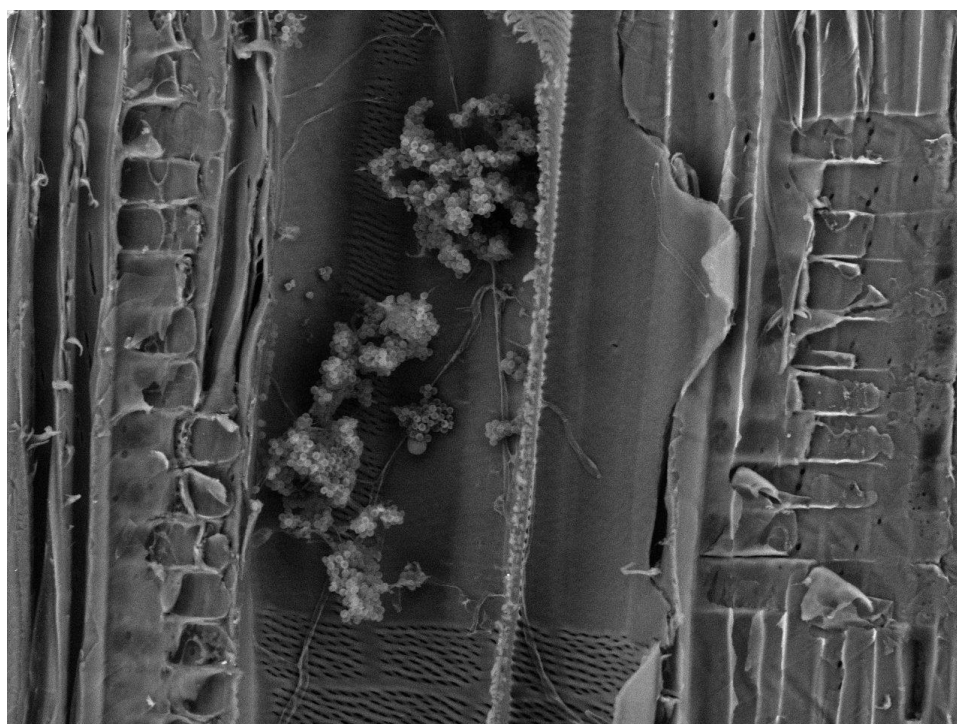


TM-1000_2644

2024.10.21

L D3.2 x600 100 um

Рисунок 4.25 – Лестничная перфорация сосуда древесины березы с побурением
(Ув. 1.0k×)



TM-1000_2619

2024.10.18

L D3.0 x500 200 um

Рисунок 4.26 – Грибные гифы со порами внутри полости сосуда древесины с побурением (Ув. 1.0k×)

4.6 Результаты ДНК секвенирования

Для определения видового состава грибов в подготовленных образцах были использованы два разных метода идентификации грибной ДНК. Было проведено выделение ДНК из сухих кернов древесины и из культур грибного мицелия, полученного *in vitro*.

Колонии грибов, выращенные на питательной среде, представлены на рисунке 4.28-4.29.

Дальнейшее секвенирование ДНК грибов, выделенных разными методами, показало следующие результаты. В образце №8 древесины без побурения (контроль) обнаружен гриб рода *Trichoderma*. Электрофореграммы других образцов показали наличие нескольких грибов, определить которые не представилось возможным.



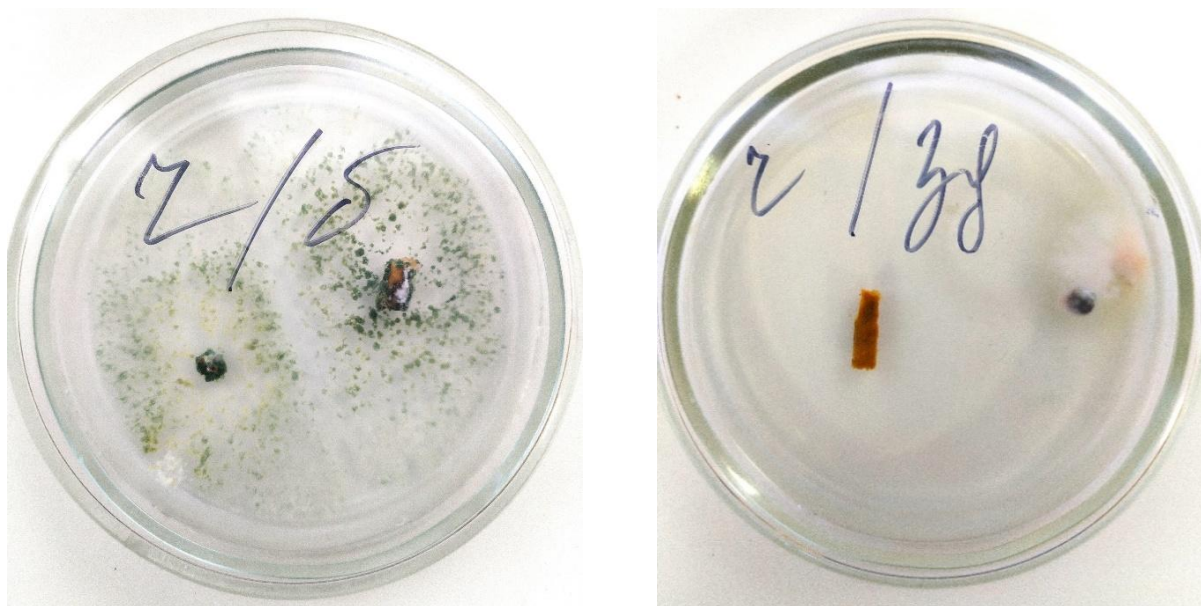
а



б

а – фрагмент керна, отобранного из древесины с побурением, б– фрагмент керна, отобранного из контрольного дерева:

Рисунок 4.28 – Колонии грибов выращенных на агаре Сабуро



а

б

а –фрагмент керна, отобранного из древесины с побурением, б– фрагмент керна, отобранного из контрольного дерева:

Рисунок 4.29 – Колонии грибов, выращенных в питательной среде Чапека

С целью диагностирования основных биологических агентов в сопутствующей и следовой микрофлоре тканей древесины была проведена ПЦР с видоспецифическими праймерами являющимися тест-системами для опёнка осевого, ряда трутовиков и корневой губки. В ходе ПЦР и электрофоретического фракционирования ампликонов (ПЦР-продуктов) в агарозном геле были получены электрофореграммы, отображающие наличие либо отсутствие генетического материала грибов в исследуемых образцах. Положительная амплификация препаратов ДНК с выбранными праймерами визуализировалась в виде светящихся в геле фракций (комплекс «ампликон-бромистый этидий» в УФ свете).

Размер выявленных ампликонов в образцах культур грибов согласно использованному маркеру молекулярных масс (GeneRuler™ 50 bpDNA Ladder, США) варьировал в диапазоне ≈ 111 -631 пар нуклеотидов (п.н.), в зависимости от

специфичности маркера и свидетельствовал о наличии определенных видов грибов в исследованном материале.

Электрофоретическое фракционирование ампликонов культур грибов представлено на рисунках 4.30-4.33.

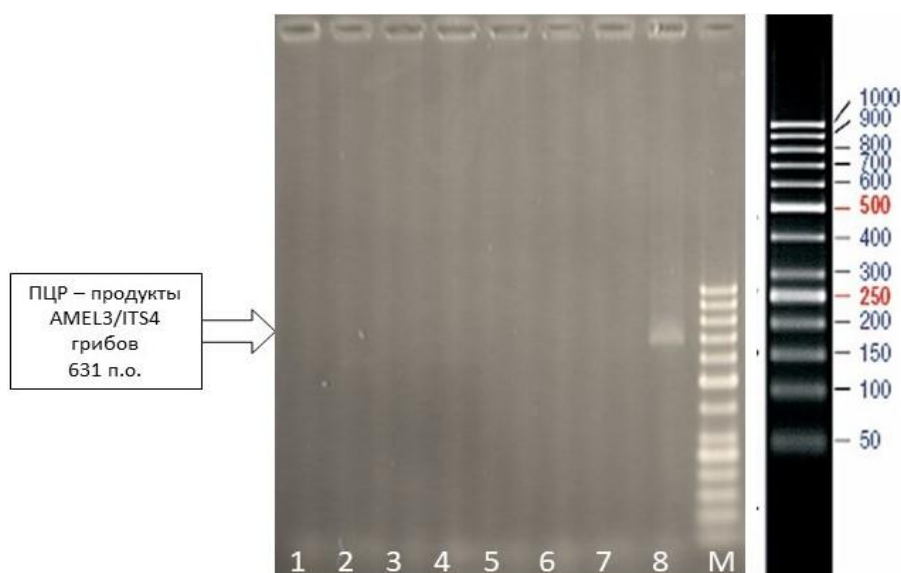


Рисунок 4.30 – Отсутствие необходимого размера ампликонов (631 п.н.) *Armillaria mellea* (опёнок осенний) в образцах №1-8. Обнаруженный ампликон в образце №8 имеет размер 700 п.н. М – электрофоретический стандарт

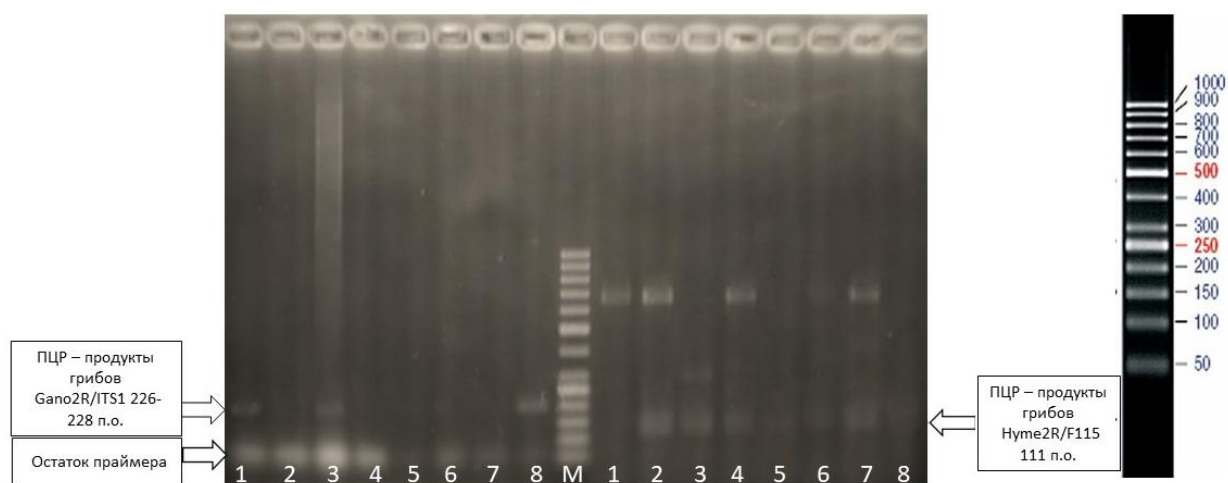


Рисунок 4.31 – Наличие ампликонов трутовиков рода *Ganoderma* в образцах №1,3,8. Наличие ампликонов трутовиков родов *Inonotus* и *Phellinus* в образцах 2-7. М – электрофоретический стандарт

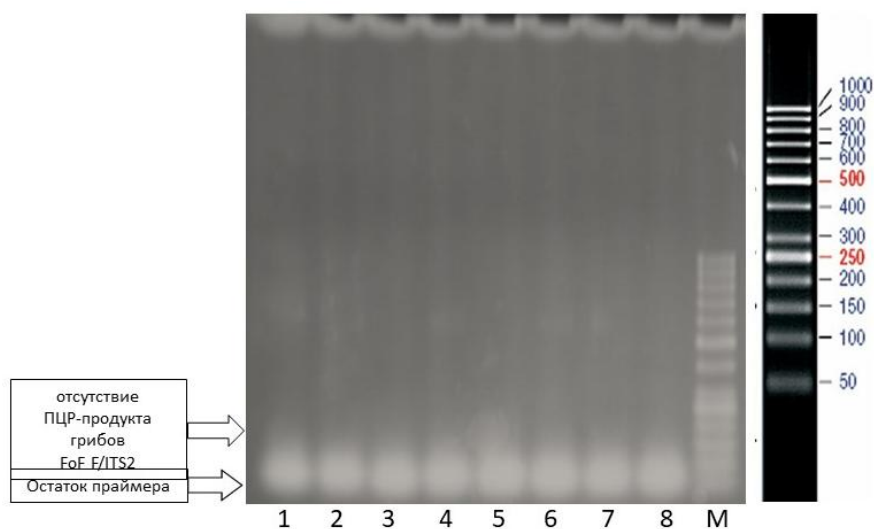


Рисунок 4.32 – Отсутствие ампликонов *Fomes fomentarius* (трутовик настоящий) в образцах 1-8. М – электрофоретический стандарт

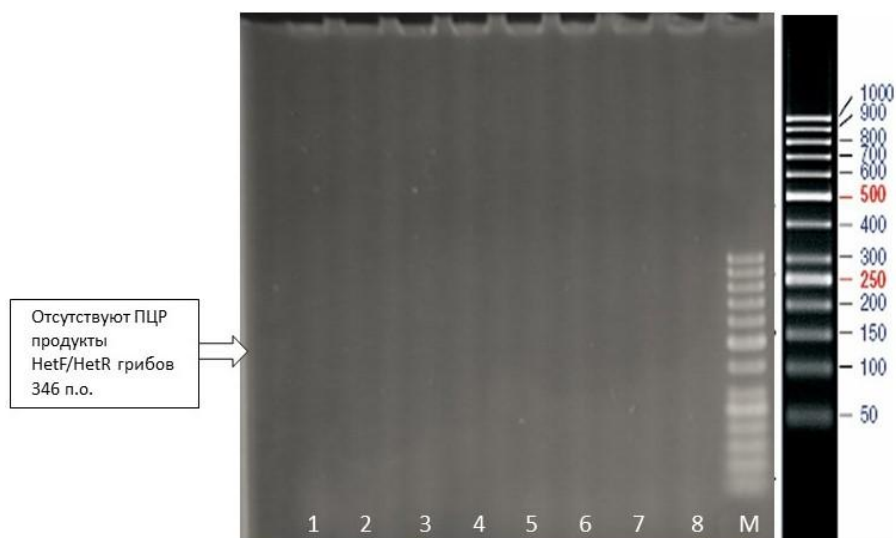


Рисунок 4.33 – Отсутствие ампликонов *Heterobasidion annosum* (корневая губка) в образцах №1-8. М – электрофоретический стандарт

Обобщенные результаты, полученные в ходе комплексного молекулярно-генетического анализа с применением секвенирования и видоспецифической ПЦР, представлены в таблице 4.3

Таблица 4.3– Обобщенные результаты молекулярно-генетической диагностики образцов древесины

№ образца	Метод молекулярно-генетической диагностики						
	Секвенирование ДНК, выделенной из древесины	Секвенирование ДНК, выделенной из культур грибоного мицелия, полученного <i>invitro</i>	Видоспецифическая ПЦР к грибам комплекса <i>Armillariamellea</i> s. l.	Видоспецифическая ПЦР к грибам рода <i>Ganoderma</i>	Видоспецифическая ПЦР к грибам рода <i>Inonotus/Phellinus</i>	Видоспецифическая ПЦР к грибам <i>Fomesfomentarius</i>	Видоспецифическая ПЦР к грибам <i>Heterobasidionannosum</i>
1 – больное/ Агар Сабура	NA	NA	-	+	-	-	-
2 - больное/ агарСабура	NA	NA	-	-	+	-	-
3 – здоровое/ агарСабура	NA	NA	-	+	+	-	-
4 - здоровое/ агарСабура	NA	NA	-	-	+	-	-
5 – здоровое/ среда Чапика	NA	NA	-	-	+	-	-

Продолжение таблицы 4.3

№ образца	Метод молекулярно-генетической диагностики						
	Секвенирование ДНК, выделенной из древесины	Секвенирование ДНК, выделенной из культур грибного мицелия, полученного <i>invitro</i>	Видоспецифическая ПЦР к грибам комплекса <i>Armillariamellea</i> s. l.	Видоспецифическая ПЦР к грибам рода <i>Ganoderma</i>	Видоспецифическая ПЦР к грибам рода <i>Inonotus/Phellinus</i>	Видоспецифическая ПЦР к грибам <i>Fomesfomentarius</i>	Видоспецифическая ПЦР к грибам <i>Heterobasidionannosum</i>
6 – больное/среда Чапика	NA	NA	-	-	+	-	-
7 – больное/древесина	NA	NA	-	-	+	-	-
8 - здоровое/древесина	<i>Trichoderma</i> sp.(MH284669.1)	NA	-	+	-	-	-

Примечание: NA - гриб не идентифицирован из-за низкого качества данных (сигнал, полученный при считывании нуклеотидной последовательности, не прошел контроль качества); + гриб обнаружен; - гриб не обнаружен. Информация о гомологичных последовательностях, представленных в базе данных BLAST указана в скобках.

4.6.1 Краткое описание выявленных грибов

Ganoderma – род грибов-трутовиков из семейства Ганодермовые (*Ganodermataceae*), произрастающих на деревьях. Всего род содержит около 80 видов, представители его встречаются на всех континентах [150].

***Trichoderma*sp.** – широко распространенный нитевидный гриб, встречающийся в почве, на корнях растений и внутри стволов деревьев. Виды *Trichoderma*sp. описаны как условно-патогенные, в основном авирулентные симбионты растений в почве [151].

Inonotus – род грибов-базидиомицетов, входящий в семейство гименохетовые. Представители рода произрастают на стволах мёртвых и живых лиственных и хвойных деревьев. Виды данного рода вызывают пеструю ядровую гниль [152]. Яркий представитель *I.obliquus* (чага).

Phellinus (трутовики) – род грибов семейства *Hymenochaetaceae*. Виды данного рода вызывают белую и пеструю гниль [153]. Наиболее яркие представители: *P.ignarius* ложный трутовик, *P.tremulae*(осиновый трутовик), *P.pini* (сосновая губка), *P. Hartigii* (трутовик Гартига) [154-157].

4.7 Результаты направленного изменения проницаемости древесины березы

4.7.1 Результаты определения доминирующих факторов на продувку древесины

В результате математической обработки экспериментальных данных по определению доминирующих факторов на продувку древесины воздухом, получено уравнение регрессии, которое имеет следующий вид:

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

На рисунке 4.34 представлена поверхность отклика зависимости

продолжительности продувки древесины березы от величины давления.

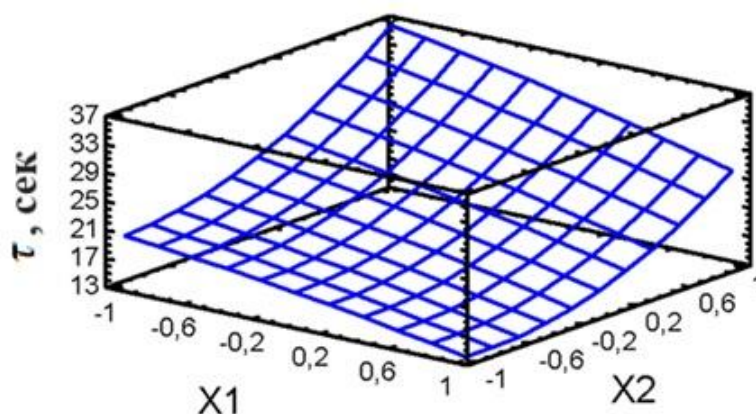


Рисунок 4.34 – Зависимость продолжительности продувки древесины от величины давления « X_1 » и длины сортимента « X_2 »

Результат регрессионного анализа показывает, что на процесс продувки древесины сжатым воздухом существенную роль оказывает длина заготовленного сортимента, которая увеличивает продолжительность продувки древесины. Также стоит учитывать особенности строения древесины, которые могут повлиять на продолжительность продувки независимо от представленных факторов. К таким особенностям относятся нахождение внутри древесины закрытых сучков и изменение направления волокон.

4.7.2 Результаты формирования проницаемых участков древесины березы

На следующем этапе исследований изучалась возможность управляемого изменения проницаемости на отдельных участках. Для этого в соответствии с методикой образцы продувались на отдельных участках термостатировались и пропитывались красителем в автоклаве. Оценка характера проникновения пропиточного раствора в образцы фиксировалась после их распиловке на доски

по схеме, представленной на рисунке 4.35. Результат опытной пропитки представлен на рисунке 4.36.

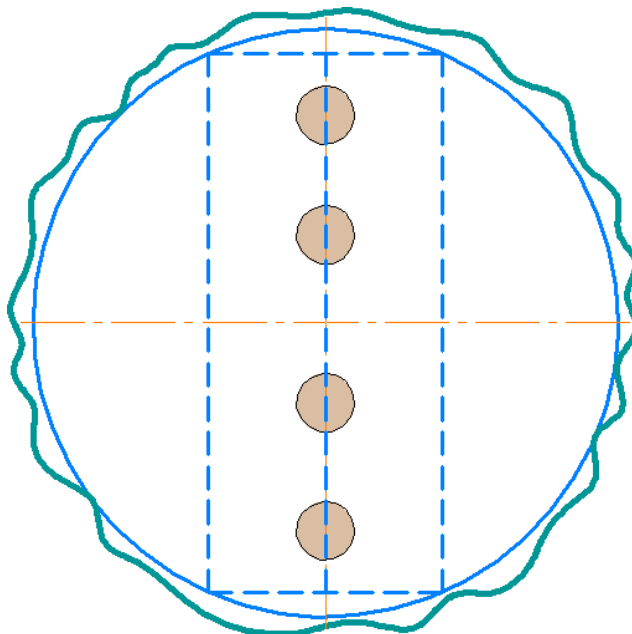
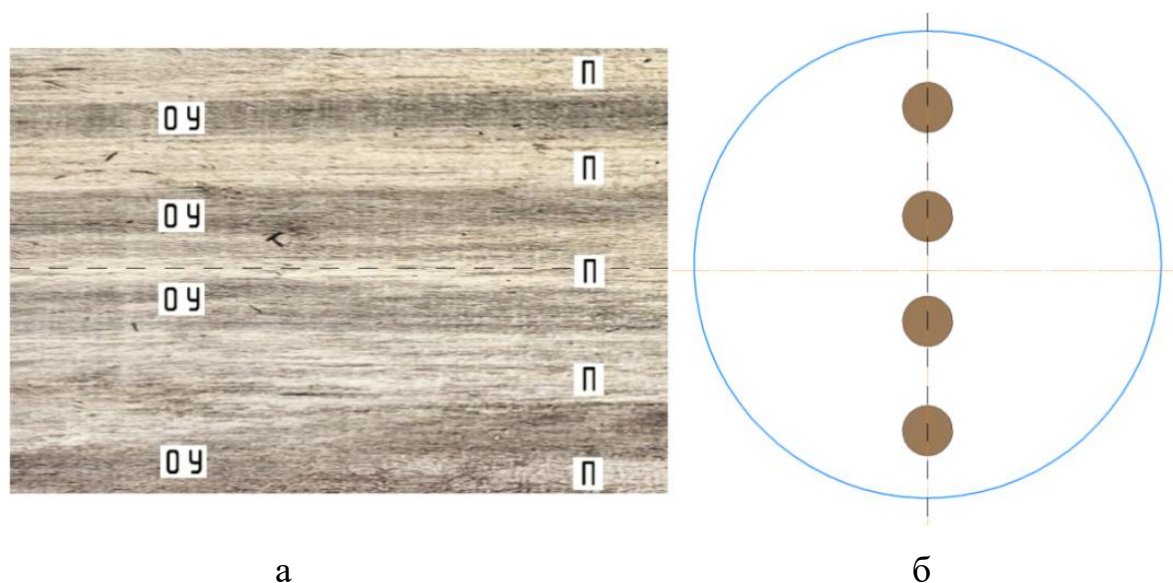


Рисунок 4.35 – Распиловка образца после автоклавной пропитки [147]

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 высвобождение из полостей сосудов свободной влаги, и заполнения их воздухом. В отсутствии воды становится невозможным перенос фибриллярного материала на перфорационные пластины сосудов. Кроме того, воздействие воздухом приводит к быстрой гибели паренхимных клеток. Поэтому при развитии побурения на этих участках 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. Исходя из полученных данных, побурение

значительно снижает проницаемость свежесрубленной древесины березы для жидкостей и газов [147].



а – полученная текстура древесины; б – схема продувки образца;
 ОУ–окрашенный участок; П– Непроницаемый участок, древесина с побурением
 Рисунок 4.36 – Сопоставление результата пропитки и схемы продувки
 проницаемых участков[147]

4.8 Выводы к четвертой главе

1. В условиях эксперимента скорость продвижения побурения образца длиной 30 см от торцов вдоль волокон составила около 15 см/мес. Данные результаты согласуются с литературными данными. Для равномерного формирования побурения в древесине березы оказались вариация температуры от 20 до 30°C и влажности воздуха от 90 % до 60%;

2. Исследование газопроницаемости показало девятикратное снижение проницаемости древесины с побурением, в отличие от древесины без побурения (контроль). Опытные пропитки показали, что для окрашивающих растворов побуревшая древесина также становится практически не проницаемой;

3. С помощью микроскопических исследований определены факторы, влияющие на изменение проницаемости древесины березы с побурением. Обнаруженный на лестничных перфорациях члеников сосудов древесины березы с побурением фибриллярный слой, по-видимому, является одним из главных причин снижения проницаемости такой древесины. Обнаруженные гифы и споры грибов в древесине с побурением не оказывают деструктивного влияния на лестничные перфорации сосудов, но также являются возможными инициаторами снижения пропускной способности такой древесины;

4. Исследование механических свойств показало, что побурение древесины приводит к незначительному снижению её механических характеристик. Среднее значение предела прочности при сжатии вдоль волокон древесины с побурением составило 59,39 МПа, среднее значение предела прочности при статическом изгибе – 70,3 МПа, а среднее значение ударной вязкости – 7,38 Дж/см²;

5. В ходе исследований изучены отличительные особенности анатомического строения волокнистых трахеид «ранней» и «поздней» зон годичного слоя. 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;

6. Комплексный молекулярно-генетический анализ с применением секвенирования и видоспецифической ПЦР показал наличие грибов рода *Ganoderma* и *Inonotus* и *Phellinus* как в древесине с побурением, так и в здоровой древесине;

7. Результат регрессионного анализа показал, что на процесс продувки древесины сжатым воздухом существенную роль оказывает длина заготовленного сортамента;

8. Использование особенности раневой реакции влиять на проницаемость древесины березы является перспективным направлением и позволяет разработать технологию формирования текстуры за счет создания локально проницаемых и не проницаемых участков.

ГЛАВА 5. ТЕХНОЛОГИЯ ФОРМИРОВАНИЯ ИСКУССТВЕННОЙ ТЕКСТУРЫ ДРЕВЕСИНЫ БЕРЕЗЫ

5.1 Требования к сырью и условия хранения

Размерные характеристики. Сырьем для выработки продукции служат свежезаготовленные круглые березовые лесоматериалы. По длине, толщине и качеству лесоматериалы должны удовлетворять требованиям ГОСТ 9462-88 «Лесоматериалы круглые лиственных пород. Технические условия» [158]. По толщине допускается использование средних (14-24 см) и крупных (26 см и более) бревен. Длина бревен принимается от 2 до 6 м с градацией 0,25 м. Бревна должны иметь припуск по длине от 3 до 5 см.

Качество и влажность древесины. В круглых лесоматериалах не допускается наличие повреждений коры, ядровой и заболонной гнили, ложного ядра, побурения, синевы, плесени, трещин, а также иных дефектов, которые могут снизить качество материала и повлиять на последующую обработку древесины. Допускается наличие сучков в средних и крупных лесоматериалах не более 3 см (для 1 сорта). Наличие табачных сучков не допустимо. Древесина должна быть прямослойная. Лесоматериалы с кривизной и тяговой древесиной не допускаются. Содержание влаги в заготовленной древесине должно быть более 50%.

Хранение. При заготовке древесины в зимний период и последующем её хранении при отрицательных температурах специальные требования не предъявляются. Перед началом технологического процесса необходимо обеспечить полное оттаивание древесины на всю глубину.

Если заготовка древесины происходит в другие сезоны, то следует принять меры по консервации лесоматериалов, чтобы предотвратить снижение влажности и биодеструкции древесины. Для сохранения первоначальных свойств и влажности древесины рекомендуется герметизировать торцы специальными

мастиками. При накоплении заготовленных брёвен до их отправки в производственный цех предпочтительным является водный способ хранения.

5.2 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 метра.

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

Удаление свободной влаги из отдельных участков сортимента производится по заранее запроектированной 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 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 60 % до 90 % в течении 50-100 суток в

зависимости от длины и диаметра сортимента (с увеличением размеров сортимента увеличивается продолжительность выдержки древесины). В процессе выдержки, на участках древесины, в которых не проводилась продувка воздухом, развиваются процессы раневой реакции, связанные с постепенным отмиранием паренхимных клеток. 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 брус на ленточнопильном станке, а затем на пиломатериал требуемого сечения 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» [159].

Затем высушенный пиломатериал пропитывают водными растворами кислотных красителей. Пропитку производят в автоклавной установке по способу полного поглощения («вакуум – давление – вакуум»). Режим пропитки растворами красителей приведен в таблице 5.1.

Таблица 5.1 – Режим пропитки [160]

№	Технологическая операция	Величина	Продолжительность операции, мин
1	Загрузка древесины	-	-
2	Вакуум, МПа	0,08	30
3	Заполнение автоклава пропиточной жидкостью	-	-

Продолжение таблицы 5.1

№	Технологическая операция	Величина	Продолжительность операции, мин
4	Жидкостное давление, МПа	1,0	До полного насыщения древесины, в зависимости от объема
5	Слив жидкости из автоклава	-	-
6	Вакуум, МПа	0,08	15
7	Слив жидкости из автоклава	-	-
8	Выгрузка древесины	-	-

В ходе пропитки краситель проникает в подготовленные продувкой участки и окрашивает их. За счет этого обеспечивается локальное окрашивание в соответствии с запроектированным рисунком.

После пропитки пиломатериал перемещают в сушильную камеру, где его высушивают при мягких режимах сушки по ГОСТ 19773-84 до влажности 10 ± 2 %.

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 5.1.

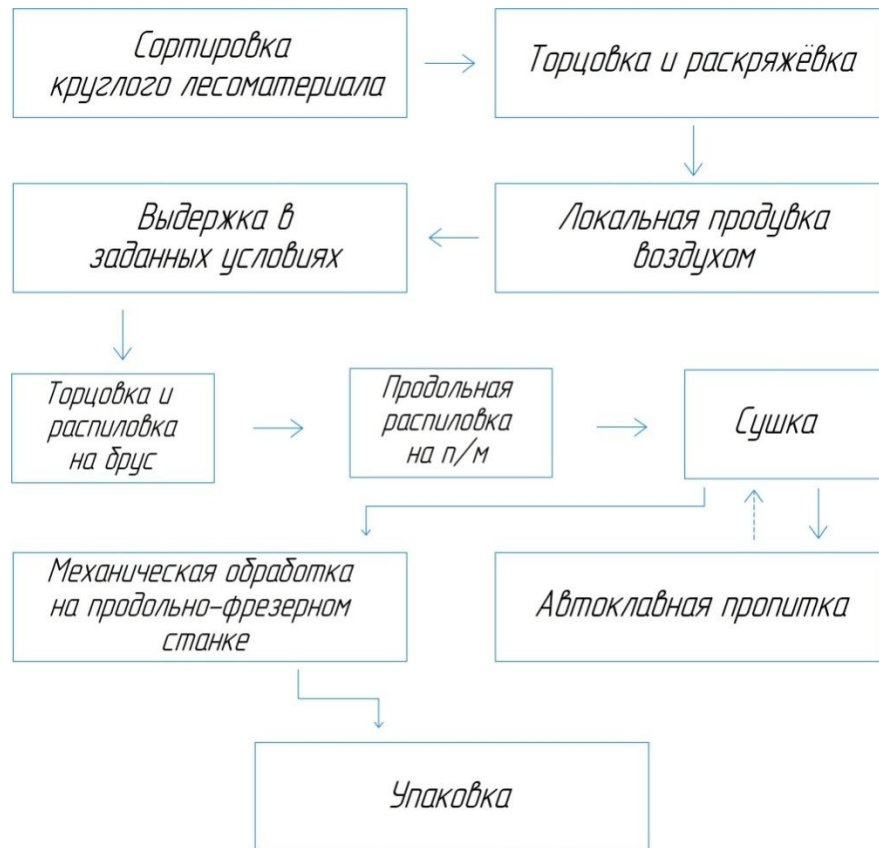


Рисунок 5.1 – Технологическая схема получения древесины с искусственной текстурой

В зависимости от конечного продукта схема технологического процесса может изменяться. На рисунках 5.2-5.4 представлены возможные варианты технологических процессов изготовления погонажных изделий, мебельного щита или строганого шпона.

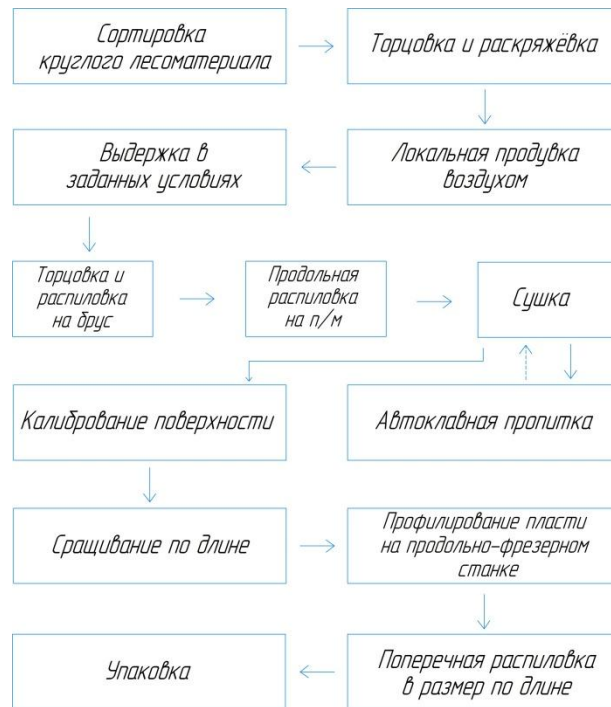


Рисунок 5.2 – Технологическая схема получения погонажных элементов с искусственной текстурой

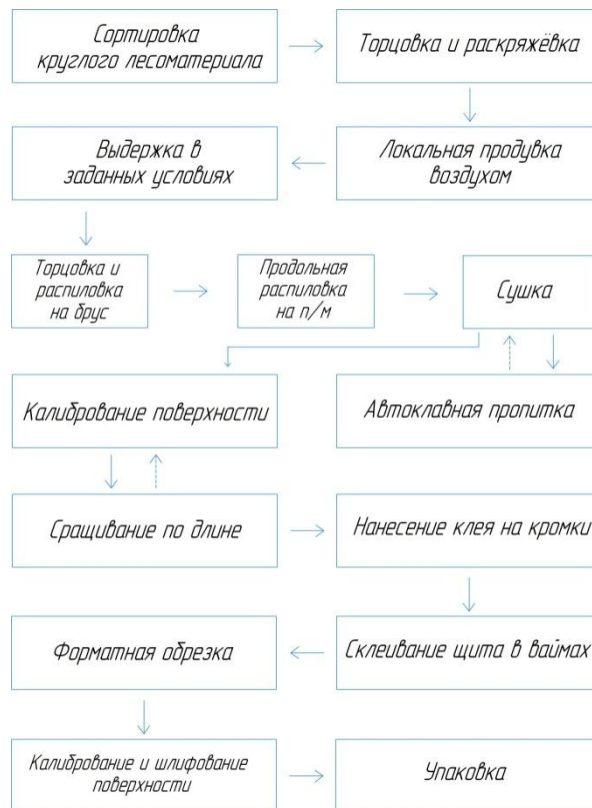


Рисунок 5.3 – Технологическая схема получения мебельного щита с искусственной текстурой

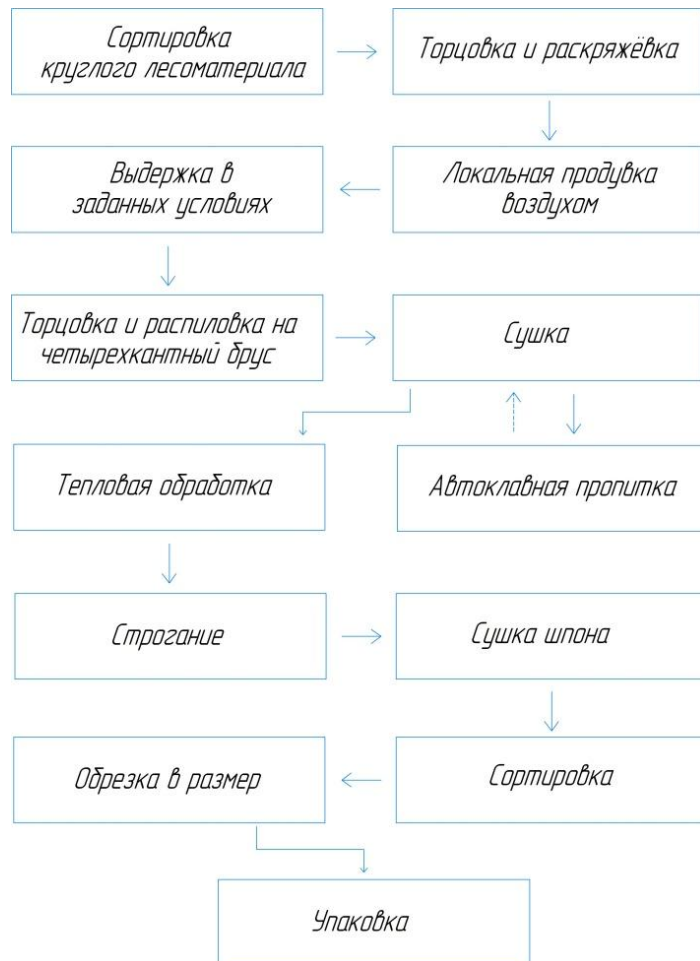


Рисунок 5.4 – Технологическая схема получения строганого шпона с искусственной текстурой

ГЛАВА 6. ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ

6.1 Технологический расчет производительности участка пропитки

В качестве головного оборудования, по которому будет рассчитываться годовая производительность по принятой технологии, выбран участок автоклавной пропитки.

Пересчет объема фактического пиломатериала в объем условного материала. Для учета производительности пропиточной установки и планирования её работы принимаем неизменную учетную единицу – кубометр условного материала. Исходные данные для проектирования приведены на рисунке 6.1 и в таблицах 6.1-6.2 .

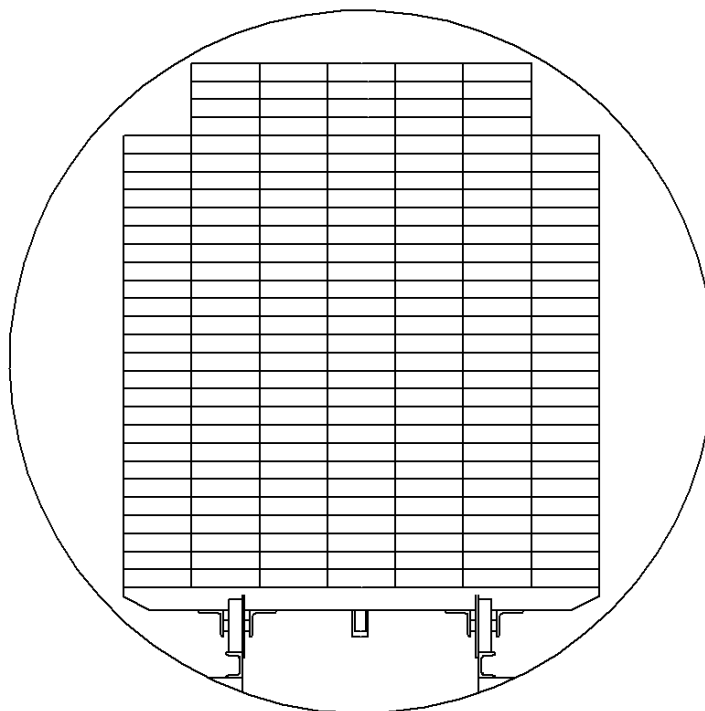


Рисунок 6.1 – Расположение штабеля в пропиточном автоклаве

Таблица 6.1 – Спецификация пиломатериалов, подлежащих пропитке

Порода древесины	Вид	Сечение, мм		Длина, м	Влажность, %
		толщина	ширина		
Береза	обрезная	25	150	2	20

Таблица 6.2 – Техническая характеристика установки (автоклава) для пропитки

Наименование показателя	Величина
Габаритные размеры установки, мм	
– длина	6200
– внутренний диаметр	1600
– наружный диаметр	1900
Габаритные размеры штабеля, мм	
– длина	2000
– ширина	1100
– высота	1000
Число штабелей в установке, шт.	3
Площадь поверхности автоклава, м ²	43,96
Объем автоклава, м ³	13,069
Масса автоклава, кг	7500
Масса вагонетки, кг	273
Число вагонеток, шт.	1
Толщина внутренней стальной стенки, мм	12
Толщина теплоизоляции, мм	100
Толщина наружной стальной стенки, мм	2
Рабочее давление (максимальное), Мпа	1,2

Вместимость пропиточной установки в условном материале, $E_{\text{усл.}}$, м³усл., определяют по формуле

$$E_{\text{усл.}} = V_{\text{шт.}} \cdot \beta_{\text{усл.}}, \quad (6.1)$$

где $V_{\text{шт.}}$ – габаритный объем штабеля в пропиточной установке, м³;

$\beta_{\text{усл.}}$ – коэффициент объемного заполнения штабеля условным материалом.

Габаритный объем штабеля в пропиточной установке, $V_{\text{шт.}}$, м³, определяется по формуле

$$V_{шт} = n_{шт} \cdot h \cdot l_{шт} \cdot B_{шт}, \quad (6.2)$$

где $n_{шт}$ – количество одновременно загружаемых штабелей, шт;

Принимаем $n_{шт} = 3$ шт., $h = 1$ м, $l_{шт.} = 2$ м, $B_{шт.} = 1,1$ м.

Подставляя эти значения в формулу (6.2), получим

$$V_{шт} = 3 \cdot 1 \cdot 2 \cdot 1,1 = 6,6 \text{ м}^3.$$

Так как штабель формируется без прокладок, коэффициенты объемного заполнения штабеля фактическим и условным материалом, $\beta_{усл.}$, находятся по одной формуле

$$\beta_{ф} = \beta_{усл} = \beta_{в} \cdot \beta_{ш} \cdot \beta_{дл}, \quad (6.3)$$

где $\beta_{в}$ – коэффициент заполнения штабеля по высоте;
 $\beta_{ш}$ – коэффициент заполнения штабеля по ширине;
 $\beta_{дл}$ – коэффициент заполнения штабеля по длине.

Коэффициент заполнения штабеля по высоте, $\beta_{в}$, определяют по формуле

$$\beta_{в} = \frac{S \cdot n_{в.об}}{h}, \quad (6.4)$$

где S – толщина пиломатериалов, мм;
 $n_{в.об}$ – общее количество заготовок по высоте, шт.;
 h – высота штабеля, мм.

Принимаем $S = 40$ мм, $h = 1000$ мм, $n_{в.об} = 25$ штук.

Подставляя эти значения в формулу (6.4), получим:

$$\beta_B = \frac{40 \cdot 25}{1000} = 1,0.$$

Коэффициент заполнения штабеля по ширине, $\beta_{ш}$, определяют по формуле

$$\beta_{ш} = \frac{\frac{B \cdot n_{ш1}}{B_{ш}} \cdot n_{B1} + \frac{B \cdot n_{ш2}}{B_{ш}} \cdot n_{B2}}{n_{B.об}}, \quad (6.5)$$

где B – ширина пиломатериалов, мм;
 $n_{ш1}$ и $n_{ш2}$ – количество заготовок по ширине, шт.;
 n_{B1} и n_{B2} – количество заготовок по высоте, шт.;
 $B_{ш}$ – ширина штабеля, мм.

Принимаем $B = 150$ мм, $n_{ш1} = 7$ шт., $n_{ш2} = 5$ шт., $n_{B1} = 25$ шт., $n_{B2} = 4$ шт., $n_{B.об} = 29$ шт., $B_{ш} = 1100$ мм.

Подставляя эти значения в формулу (6.5), получим

$$\beta_{ш} = \frac{\frac{150 \cdot 7}{1100} \cdot 25 + \frac{150 \cdot 5}{1100} \cdot 4}{n_{B.об}} = 0,91.$$

Коэффициент заполнения штабеля по длине, $\beta_{дл}$, определяют по формуле

$$\beta_{дл} = \frac{l_3}{l_{шт}}, \quad (6.6)$$

где l_3 – длина заготовок, м;
 $l_{шт}$ – габаритная длина штабеля, м.

Принимаем $l_3 = 2,0$ м; $l_{шт} = 2,0$ м.

Подставляя эти значения в формулу (6.6), получим

$$\beta_{дл} = \frac{2}{2} = 1,0.$$

Принимаем $\beta_v = 1,0$; $\beta_{шт} = 0,91$; $\beta_{дл} = 1,0$.

Подставляя эти значения в формулу (6.3), получим

$$\beta_{\phi} = \beta_{усл} = 1,0 \cdot 0,91 \cdot 1,0 = 0,91.$$

Принимаем $V_{шт} = 6,6$ м³; $\beta_{усл} = 0,91$.

Подставляя эти значения в формулу (6.1), получим

$$E_{усл} = 6,6 \cdot 0,91 = 6 \text{ м}^3_{усл}.$$

Определение производительности пропиточной установки. Годовая производительность пропиточной установки в условном материале, Π_{Γ} , м³ усл./год, определяют по формуле

$$\Pi_{\Gamma} = E_{усл} \cdot n_{п.е.} \cdot n_c \cdot m \cdot S, \quad (6.7)$$

где $n_{п.е.}$ – число пропиточных емкостей, шт.;

n_c – сменность работы;

m – количество рабочих дней в году, дн.;

S – число процессов пропитки, которое может быть осуществлено за одни сутки.

Число процессов пропитки, S , которое может быть осуществлено за одну смену, определяется по формуле

$$S = \frac{480}{\tau}, \quad (6.8)$$

где 480 – число минут в смену, мин.;

τ – продолжительность одного процесса пропитки, мин.

Принимаем $\tau = 337$ мин.

Подставляя эти значения в формулу (6.8), получим

$$S = \frac{480}{337} = 1,42 \text{ шт.}$$

Число процессов пропитки, которое может быть осуществлено за одну смену принимаем равной 1.

Принимаем: $E_{\text{усл.}} = 6 \text{ м}^3 \text{ усл.}; n_{\text{п.с}} = 1 \text{ шт.}; n_{\text{с}} = 2; m = 247 \text{ дн.}; S = 1.$

Подставляя эти значения в формулу (6.7), получим

$$П_{\text{г}} = 6,0 \cdot 1 \cdot 2 \cdot 247 \cdot 1 = 2964 \text{ м}^3 \text{ усл./год.}$$

Таким образом, годовой выпуск пропитанной древесины составляет 2964 $\text{м}^3 \text{ усл./год.}$

6.2 Планирование затрат на производство

В данной главе рассматривается экономическое обоснование эффективности производства березовой доски с повышенными декоративными

свойствами. Для планирования и расчета затрат на производство готовой продукции необходимо составить план работ с указанием требуемых машин и механизмов согласно разработанной технологии.

Основные работы:

- Раскряжевка (линия автоматической раскряжёвки);
- Продувка воздухом (компрессор);
- Выдержка в заданных условиях;
- Распиловка на брус (ленточнопильный станок);
- Распиловка на п/м (ленточнопильный станок);
- Сушка (сушильная камера);
- Пропитка (автоклавная установка);
- Механическая обработка (продольно-фрезерный станок).

Вспомогательные работы:

- Сортировка (линия сортировки);
- Торцовка (торцовочный станок);
- Упаковка (пакетирующий станок).

В составе материалов отражаются покупные материалы на технологические цели. Расчет представлен в таблице 6.4.

Таблица 6.4 – Расчет материальных затрат

Наименование объектов	Потребность в натуральных единицах	Цена за единицу, руб.	Сумма затрат, тыс.руб.
Круглый лесоматериал, м ³	4 560	5 000	22 800,0
Инъектор, шт	20	1 500	30,0
Шланг, м	10	200	2,0
Пильное полотн, шт	2	5 000	5,0
Краситель кислотный, кг	26	1 400	36,4
Заточка фрез, шт	4	500	2,0
Итого по смете			22 875,4

Для воспроизводства основных фондов начисляется амортизация. Расчет амортизационных отчислений представлен в таблице 6.5.

Таблица 6.5 – Расчет амортизационных отчислений

Наименование объектов планирования	Стоимость, тыс. руб.	Норма амортизации, %	Сумма амортизации, тыс. руб.
Линии автоматической раскряжёвки	4691	10	469,1
Компрессор	500	10	50
Ленточнопильный станок для распиловки на брус	1738	10	173,8
Ленточнопильный станок для распиловки на п/м	1738	10	173,8
Сушильная камера	1200	10	60
Автоклавная установка	3000	10	150
Продольно-фрезерный станок	2518	10	125,9
Линия сортировки	13000	10	650
Торцовочный станок	3897	10	194,85
Пакетирующий станок	1883	10	94,15
			2 141,6

Расчет стоимости электроэнергии проводится исходя из потребности используемого оборудования (таблица 6.6).

Таблица 6.6 – Расчет стоимости электроэнергии

Наименование объекта	Потребность в электроэнергии, кВт/ч.	Стоимость электроэнергии, тыс. руб.
Линии автоматической раскряжёвки	18,5	92,5
Компрессор	15	75,0
Ленточнопильный станок для распиловки на брус	18,5	92,5
Ленточнопильный станок для распиловки на п/м	18,5	92,5
Сушильная камера	60	300,0
Автоклавная установка	50	250,0
Продольно-фрезерный станок	18,5	92,5
Линия сортировки	25	125,0
Торцовочный станок	7,5	37,5
Пакетирующий станок	16	80,0
Итого по смете		1 237,5

Расчет расходов на оплату труда производственных рабочих осуществлен в таблице 6.7. В таблице 6.8 представлен расчет расходов на оплату труда управленческого персонала.

Таблица 6.7 – Расчет расходов на оплату труда производственных рабочих

Наименование работ	Трудозатраты, чел.-дн.	Средняя дневная тарифная ставка, руб.	Тарифный фонд, тыс.руб.	Расходы на оплату труда, тыс. руб.
Инженерно-технические работники	3705	3500	12 967,5	25 935,0
Рабочие	2470	2440	6 026,8	12 053,6
Итого по смете				37 988,6

Таблица 6.8 – Расчет расходов на оплату труда управленческого персонала

Наименование должностей	Численность, чел.	Оклад, тыс. руб.	Сумма годового заработка, тыс.руб.	Сумма расходов на оплату труда, тыс.руб.
Технолог	1	70	840	1428
Механик	2	65	1560	2652
Начальник производства	1	50	600	1020
Мастер на отгрузке готовой продукции	3	40	1440	2448
Итого по смете				7 548

6.3 Планирование себестоимости и цены продукции

Расчет стоимости продукции. Смета затрат на производство и обоснование уровня цен на продукцию представлены в таблицах 6.9-6.10.

Таблица 6.9 – Смета затрат на производство

Элементы затрат	Сумма, тыс. руб.	На 1м ³ , тыс. руб.
Материалы	22 875,40	7,72
Оплата труда персонала:		
рабочих	37 988,6	12,82
управленческого персонала	7 548	2,55

Продолжение таблицы 6.9

Элементы затрат	Сумма, тыс. руб.	На 1м ³ , тыс. руб.
Страховые взносы (от общей суммы оплаты труда)	13 752,05	4,64
Амортизация основных средств	7 627,95	0,72
Электроэнергия	1 237,5	0,42
Общепроизводственные и общехозяйственные расходы	2 178,75	0,74
Итого	87 721,9	29,56

Таблица 6.10 – Обоснование уровня цен на продукцию

Наименование продукции	Производственная себестоимость 1 м ³ , руб.	Уровень рентабельности, %	Уровень рентабельности, руб.	Цена, руб.
Доска с повышенными декоративными свойствами	29 595,78	7	2 071,71	31 667,48

6.4 Выводы к шестой главе

Расчет показал экономическую эффективность производства березовой доски с повышенными декоративными свойствами. Цена получения продукции по предложенной технологии составляет 31 667,48 руб./м³, что ниже цены доски из дуба, рыночная стоимость которой начинается от 60 000 руб./м³. Это создает ценовое преимущество в размере более 28 тыс. руб./м³.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Разработана технология формирования искусственной текстуры древесины березы путём 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: вариация температуры воздуха от 20°C до 30°C, относительная влажность воздуха от 90 % до 60% и скорость распространения от торцов вдоль волокон со скоростью около 15 см/мес (с длиной образца 30 см).

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

5. В результате микроскопических исследований выявлено, что снижение проницаемости древесины березы с побурением обусловлено перекрытием лестничных перфораций сосудов фибриллярным материалом. Обнаруженные гифы и споры грибов в древесине с побурением также являются возможными инициаторами снижения пропускной способности такой древесины.

6. Побурение древесины березы вызывает незначительное снижение её механических характеристик. Так 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». Что обусловлено 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 доски 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 полученной доски составляет 31 667,48 рубля. В среднем, это на 47 % меньше стоимости доски 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.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Елисеев С. Г. Применение лазерной перфорации для повышения декоративных свойств древесины пихты сибирской (*Abiessibirica*) / С. Г. Елисеев, В. Н. Ермолин, Д. В. Дук // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. – 2023. – № 5(395). – С. 151-163. – DOI 10.37482/0536-1036-2023-5-151-163
2. Состояние лесных ресурсов в России // Ассоциация «ЛЕСТЕХ» [Электронный ресурс]. 2024. URL: <https://alestech.ru/bulletin/article/171> (дата обращения: 23.04.2024).
3. Онегин В. И. Свойства древесины, учитываемые при формировании защитно–декоративных покрытий древесины и древесных материалов / В. И. Онегин // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. – 2015. – № 6(348). – С. 116-127. – DOI 10.17238/issn0536–1036.2015.6.116.
4. Цой Ю. И. Защитно-декоративная отделка мебели : учебное пособие / Ю. И. Цой, А. К. Блинов ; ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургская гос. худож.-пром. акад. им. А. Л. Штиглица». – СПб. : СПГХПА им. А. Л. Штиглица, 2022. – 143 с.
5. Уголев Б. Н. Древесиноведение с основами лесного товароведения. – М. : МГУЛ, 2001. – 340 с.
6. Трубников Н. А. Анализ декоративных признаков древесины и модельное исследование изменения текстуры древесины / Н. А. Трубников // Лесотехнический журнал. – 2011. – № 3(3). – С. 31-37.
7. Кушнирская М. Ц. Крашение древесины в производстве мебели. – М. :Лесн. пром-сть, 1973. – 116 с.
8. Беляев Е. Ю., и др. Крашение древесины // Химия растительного сырья. – 1999. – № 2. – С. 5-18.
9. Цой Ю. И. Лессирующая отделка декоративных элементов из древесины цветными лакокрасочными материалами / Ю. И. Цой, А. К. Блинов //

Тенденции развития науки и образования. – 2024. – № 106-9. – С. 240-243. DOI: 10.18411/trnio-02-2024-537.

10. Авторское свидетельство № 1412955 А1 СССР, МПК В27К 5/06, В27К 3/34. Способ поверхностного крашения шпона из древесины лиственницы : № 4215308 : заявл. 15.01.1987 : опубл. 30.07.1988 / А. Г. Ермолович, Л. И. Ченаова, Н. Н. Семашко ; заявитель Сибирский технологический ин-т.

11. Задраускайте Н. О. К вопросу о крашении древесины / Н. О. Задраускайте, В. А. Когтева // Прорывные научные исследования: проблемы, закономерности, перспективы : сб. ст. VIII Междунар. науч.-практ. конф. – Пенза : Наука и Просвещение (ИП Гуляев Г.Ю.), 2017. – С. 53-55.

12. Лукаш А. А. Формирование фактуры с ярко выраженной текстурой на поверхности древесины / А. А. Лукаш // Актуальные проблемы лесного комплекса. – 2020. – № 58. – С. 183–187

13. Соколов В. Л. Использование техники браширования древесины при изготовлении мебели и предметов интерьера / В. Л. Соколов, П. П. Звонарева // Дизайн XXI века : материалы VI Всерос. заоч. науч.-практ. интернет-конф. с междунар. участием. – Тула : Изд-во ТулГУ, 2022. – С. 87-89.

14. Тарбеева Н. А. Анализ процессов декорирования и упрочнения заготовок из низколиквидной древесины для изготовления отделочных материалов / Н. А. Тарбеева, О. А. Рублева // Общество. Наука. Инновации (НПК-2021) : сб. ст. XXIV Всерос. науч.-практ. конф. : в 2 т. – Киров : Вят. гос. ун-т, 2021. – Т. 2. – С. 654-660.

15. Применение технологии печати для имитации текстуры ценных пород древесины при производстве мебели / С. В. Шетько, Л. В. Игнатович, С. С. Гайдук, А. С. Чуйков // Труды БГТУ. Серия 1: Лесное хозяйство, природопользование и переработка возобновляемых ресурсов. – 2020. – № 2(234). – С. 217–222.

16. Woodgrain Stamp // Pinterest [Электронный ресурс]. 2024. URL: <https://ru.pinterest.com/pin/321163017153736340/> (дата обращения: 24.12.2024).

17. Патинирование // Стройфора [Электронный ресурс]. 2024. URL: <https://stroyfora.ru/p/post-1827> (дата обращения: 24.12.2024).
18. Черненко С. А. Облагораживание древесины красителями методом торцевой пропитки под давлением / С. А. Черненко, А. И. Бернат. – М.: Лесная промышленность, 1968. – 38 с.
19. Шамаев В. А. Современное состояние и пути развития модифицированной древесины // Материалы Междунар. науч.-практ. конф. «Современные проблемы механической технологии древесины». – СПб., 2010. – С. 11-17.
20. Патент РФ № 2309839 С1, МПК В27К 5/02. Способ глубокого окрашивания древесины : № 2006126749/04 : заявл. 21.07.2006 : опубл. 10.11.2007 / А. В. Хисамиев, А. Л. Хисамиева, А. Б. Бабилов ; заявитель ООО «Экодрев».
21. Ли Хунда. Повышение качества отделочных и конструкционных материалов из березы объёмной импульсной пропиткой водорастворимыми антипиренами и красителями: дис. ... канд. техн. наук: 05.23.05 / Ли Хунда. – Томск, 2010. – 112 с.
22. Патент РФ № 2194613 С1, МПК В27К 5/02, В44D 5/00, D06P 3/60. Способ окрашивания древесины : № 2001119669/04 : заявл. 16.07.2001 : опубл. 20.12.2002 / С. В. Усачев. – [Б. м. : б. и.], 2002. – 5 с.
23. Авторское свидетельство СССР № 1740157 А1, МПК В27К 5/02. Способ окрашивания древесины: № 4878220; заявл. 30.10.1990; опубл. 15.06.1992 / Е. В. Казаков, С. А. Ушаков, Е. И. Ткачев; заявитель Арендное предприятие «Дизайн-центр» сервиса-фирмы «Наш дом».
24. Патент РФ № 2004422 С1, МПК В27К 5/02. Способ окрашивания древесины под красное дерево: № 05004751; заявл. 09.10.1991; опубл. 15.12.1993 / В. Б. Баребышев.
25. Авторское свидетельство № 1530449 А1 СССР, МПК В27К 5/02. Способ окрашивания древесины под "орех" и "красное дерево": № 4385366; заявл.

02.03.1988: опубл. 23.12.1989 / Е. В. Казаков, И. А. Кузнецова, И. В. Крамаренко [и др.].

26. Патент 2726556 С1 РФ МПК В27К 3/02 (2006.01), В27К 5/04(2006.01). Способ получения древесины с измененной текстурой: № 2019119572: заявл. 21.06.2019: опубл. 14.07.2020, бюл. № 20 / В. А. Шамаев, Д. А. Паринов, И. Н. Медведев, Е. В. Поздняков, А. М. Волганкин.

27. Авторское свидетельство № 164108 А1 СССР, МПК В27К 3/10. Устройство для пропитки срубленной древесины: № 829507/29-14: заявл. 06.04.1963: опубл. 30.07.1964 / С. А. Черненко.

28. 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. – Т. 10. – № 2. – С. 225-250.

29. Изучение изменчивости влажности, плотности и пористости древесины березы в стволе дерева / А. Д. Платонов, С. Н. Снегирева, А. О. Сафонов [и др.] // *Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика*. – 2018. – Т. 6, № 3(39). – С. 170-173.

30. Вихров В. Е. Диагностические признаки древесины главных лесохозяйственных и лесопромышленных пород СССР: Учеб. пособие для лесотехн., лесохоз. вузов и биол.-почв. фак. Ун-тов / Акад. наук СССР. Ин-т леса. – Москва: Изд-во Акад. наук СССР, 1959. – 132 с.

31. Бенькова В. Е. Анатомия древесины растений России / В. Е. Бенькова, Ф. Х. Швейнгрубер. – Берн : [б. и.], 2004. – 456 с.

32. Амосова И. Б. Анализ анатомического строения древесины березы / И. Б. Амосова, П. А. Феклистов // *Лесной вестник*. – 2009. – № 3. – С. 45-52.

33. Atkinson M. D. *Betulapendula* Roth (*B. verrucosa*Ehrh.) and *B. pubescens*Ehrh // *Journal of Ecology*. – 1992. – Т. 80. – № 4. – С. 837-870.

34. Bhat K. M., Karkkainen M. Distinguishing between *Betulapendula* Roth. and *Betulapubescens*Ehrh. on the basis of wood anatomy. – 1980.

35. Неделина Н. Ю. Эффективный способ определения гистологического состава древесины / Н. Ю. Неделина // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2012. – № 79. – С. 340-352.
36. Cirelli D., Jagels, R., Tyree, M. T. Toward an improved model of maple sap exudation: the location and role of osmotic barriers in sugar maple, butternut and white birch // *Tree Physiology*. – 2008. – Т. 28. – № 8. – С. 1145-1155.
37. Bhat K. M., Kärkkäinen, M. Distinguishing between *Betula pendula* Roth. and *Betula pubescens* Ehrh. on the basis of wood anatomy. – 1980.
38. Biziks V., Bauere, V., Berzins, R., Andersons, B., Dizhbite, T., Kurnosova, N. Changes in the microstructure of birch wood after hydrothermal treatment // *Wood science and technology*. – 2013. – Т. 47. – С. 717-735.
39. Beeckman H. Wood anatomy and trait-based ecology // *IAWA journal*. – 2016. – Т. 37. – № 2. – С. 127-151.
40. Ślupianek A., Dolzblasz, A., Sokołowska, K. Xylem parenchyma – role and relevance in wood functioning in trees // *Plants*. – 2021. – Т. 10. – № 6. – С. 1247. DOI: <https://doi.org/10.3390/plants10061247>
41. Hellberg E., Carcaillet, C. Wood anatomy of West European *Betula*: quantitative descriptions and applications for routine identification in paleoecological studies // *Ecoscience*. – 2003. – Т. 10. – № 3. – С. 370-379.
42. Luostarinen K., Hakkarainen, K., Kaksonen, H. Connection of growth and wood density with wood anatomy in downy birch grown in two different soil types // *Scandinavian Journal of Forest Research*. – 2017. – Т. 32. – № 8. – С. 789-797.
43. Оснач Н. А. Проницаемость и проводимость древесины. – Лесная промышленность, 1964. – 182 с.
44. Цыбулько И. С., Елисеев, С. Г., Ермолин, В. Н. Газопроницаемость древесины березы // *Лесной и химический комплексы – проблемы и решения*. – 2012. – № 1. – С. 164-167.

45. ГОСТ 16483.34-77. Древесина. Метод определения газопроницаемости [Текст]. – Введ. 1978-01-01. – М. : Изд-во стандартов, 1977. – 6 с.
46. Баженов В. А. Проницаемость древесины жидкостями и ее практическое значение. – М.: Изд-во Академии наук СССР, – 1952. – С. 84.
47. Баженов В. А., Клещев, Т. И., Харук, Е. В. Прибор для определения проницаемости древесных образцов газами или жидкостями. – 1967.
48. Ермолин В. Н. Основы повышения проницаемости жидкостями древесины хвойных пород: моногр. – Красноярск: СибГТУ, 1999. – 100 с.
49. Харук Е. В. Проницаемость древесины газами и жидкостями / Е. В. Харук ; Отв. ред. канд. с.-х. наук Г. В. Клар ; АН СССР. Сиб. отд-ние. Ин-т леса и древесины им. В. Н. Сукачева. – Новосибирск: Наука, Сиб. отд-ние, 1976. – 190 с.
50. Ермолин В. Н., Деревянных, Д. Н. Пропитка древесины при переменном давлении // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. – 1999. – № 4. – С. 81-86.
51. Гусев, Н. Ф. Движение жидкости в древесине / Н. Ф. Гусев // Сб науч. тр. / ЛТИ. – М., 1950. – С. 10-13.
52. Леонович О. К. Исследования проницаемости древесины газами // Труды БГТУ. Лесная и деревообрабатывающая промышленность. – 2010. – № 2. – С. 165-168.
53. Шутов Г. Н. Основы модифицирования древесины термохимическим способом: дис. – М.: МГУЛ, 1982. – 33 с.
54. Jang, E. S., Kang, C. W. Changes in gas permeability and pore structure of wood under heat treating temperature conditions // Journal of Wood Science. – 2019. – Т. 65. – № 1. – С. 1-9.
55. Petty J. A., Palin M. A. Permeability to water of the fibre cell wall material of two hardwoods // Journal of Experimental Botany. – 1983. – Т. 34. – № 6. – С. 688-693.

56. Petty J. A. Fluid flow through the vessels of birch wood // *Journal of Experimental Botany*. – 1978. – T. 29. – № 6. – C. 1463-1469.
57. Lintunen A., Heinonen J., Peltoniemi M., Makinen H. Inspection of gas bubbles in frozen *Betula pendula* xylem with micro-CT: Conduit size, water status and bark permeability affect bubble characteristics // *Physiologia Plantarum*. – 2022. – T. 174. – № 4. – C. e13749.
58. Wadsö L. Capillarity in wood and related concepts: a critical review // *Report TVBM*. – 1995.
59. Stamm A. J. Permeability of wood to fluids // *Forest Products Journal*. – 1963. – T. 13. – № 11. – C. 503-507.
60. Stamm A. J. Passage of liquids, vapors, and dissolved materials through softwoods. – 1946.
61. Stamm A. J. Density of wood substance, adsorption by wood, and permeability of wood // *The Journal of Physical Chemistry*. – 2002. – T. 33. – № 3. – C. 398-414.
62. Kelso Jr W. C., Gertjejansen R. O., Hossfeld R. L. The effect of air blockage upon the permeability of wood to liquids. – 1963.
63. Chen P. Y. S., Yang L., Wagner F. K. Relationships among growth rate, vessel lumen area, and wood permeability for three central hardwood species // *Forest Products Journal*. – 1998. – T. 48. – № 3. – C. 87.
64. Panigrahi S., Tudu R. K., Tripathy P. Effect of permeability on primary processing of wood // *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*. – 2018. – T. 7. – № 4. – C. 2593-2598.
65. Jinman W., Chengyue D., Yixing L. Wood permeability // *Journal of Northeast Forestry University*. – 1991. – T. 2. – C. 91-97.
66. Acosta A. P., Imbert B. E., Posadas P. A review on wood permeability: influential factors and measurement technologies // *Journal of the Indian Academy of Wood Science*. – 2024. – T. 21. – № 1. – C. 175-191. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13196-024-00335-4>

67. ГОСТ 20022.2-2018. Защита древесины. Классификация. – Введ. 2019-07-01. – М.:Стандартинформ, 2018. – 16 с.
68. Акинина Е. В., Дук Д. В., Елисеев С. Г., Ермолин В. Н. Исследование способов изменения проницаемости древесины березы // Решетневские чтения : материалы XXVIII Междун. Науч.-практ. конф. – Красноярск: СибГУ науки и технологий им. акад. М.Ф. Решетнева, 2023. – С. 774-776.
69. Соловьев В. А. Дыхательный газообмен древесины. – Л.: Изд-во ЛГУ, 1983. – 300 с.
70. Елисеев С. Г., Ермолин В. Н., Намятов А. В. Проницаемость древесины березы жидкостями // Хвойные бореальной зоны. – 2014. – Т. 32, № 5-6. – С. 81-84.
71. Елисеев С. Г., Ермолин В. Н., Намятов А. В. и др. Проницаемость древесины *Betula pubescens* и ее изменение // Актуальные проблемы и перспективы развития лесопромышленного комплекса. – 2021. – С. 31-34.
72. Калита О. Н., Калита Г. А., Грушина А. Ю. К вопросу о проницаемости древесины березы желтой, пораженной гнилями // Актуальные проблемы лесного комплекса. – 2013. – № 37. – С. 32-34.
73. Кошелева Н. А., Шейкман Д. В. Исследование процесса пропитки полимерами при модификации малоценных пород древесины // Вестник Казанского технологического университета. – 2015. – Т. 18, № 14. – С. 126-130.
74. Cirelli D., Jagels R., Tyree M. T. Toward an improved model of maple sap exudation: the location and role of osmotic barriers in sugar maple, butternut and white birch // Tree Physiology. – 2008. – Т. 28, № 8. – С. 1145-1155.
75. Вакин А. Т., Полубояринов О. И., Соловьев В. А. Пороки древесины. – М.: Лесная промышленность, 1980. – 112 с.
76. Чураков Б. П., Чураков Д. Б. Лесная фитопатология. – СПб.: Лань, 2012. – 448 с.
77. Федоров Н. И. Лесная фитопатология: учеб. пособие для лесохоз. спец. вузов. – Минск: Выш. шк., 1987. – 178 с.

78. Ванин С. И. Лесная фитопатология. 4-е изд. – М.; Л.: Гослесбумиздат, 1955. – 416 с.
79. Леонтьев Н. Л. Оценка качества круглых лесоматериалов. – М.: Лесная промышленность, 1977. – 96 с.
80. Матвеев-Мотин А. С., Алексеев И. А. Скрытые пороки древесины и методы их распознавания. 3-е изд. – М.: Гослесбумиздат, 1963. – 208 с.
81. Станко Я. Н., Горбачева Г. А. Древесные породы и основные пороки древесины. Иллюстрированное справочное пособие для работников таможенной службы / Под ред. Н. М. Шматкова, А. В. Беяковой; Всемирный фонд дикой природы (WWF). – М., 2010. – 155 с.
82. Алексеева Л. Г. Природа и хозяйственное значение ложного ядра березы: дис. ... канд. техн. наук. – Москва, 1954.
83. Алексеева Л. Г. Типы ложного ядра березы // Лесной журнал. – 1959. – 11 с.
84. Алексеева Л. Г. Микологический и микроскопический анализ ложного ядра и заболони березы // Сборник трудов ПЛТИ. – 1956. – № 51.
85. Малышева О. Н. Образование ядровых веществ в древесине березы при ее поранении и поражении гриба // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. – 1976. – С. 85.
86. Чернцов И. А. Современные воззрения на природу ложного ядра и задыхания древесины лиственных пород // Вопросы защиты древесины. – М.; Л.: Гослесбумиздат, 1961. – С. 53-61.
87. Чернцов И. А., Акиидинов М. В. О природе ядрообразования у бука // Физико–механические свойства древесины: сб. трудов. – М.-Л.: Гослесбумиздат, 1953. – С. 39-64.
88. Hörnfeldt R., Drouin M., Woxblom L. False heartwood in beech *Fagussylvatica*, birch *Betulapendula*, *B. papyrifera*, and ash *Fraxinus excelsior* — an overview // Ecological Bulletins. – 2010. – С. 61-76.

89. Анучин Н. П. Лесная энциклопедия: [Лимонник-ящерицы] [Текст] / Н. П. Анучин, Г. И. Воробьев. – М. : Сов.энциклопедия, 1986. – Т. 2. – 631 с.
90. Федоренко А. В., Алфимова Н. И., Стенин А. А. Определение параметров микроструктуры древесины и ее влияние на пропитку защитными растворами // Интеллектуальные строительные композиты для зеленого строительства. – 2016. – С. 201-208.
91. Пауль Э. Э. Особенности тиллоза сосудов в древесине осины. – 1994.
92. Murmanis L. Formation of tyloses in felled *Quercus rubra* L. // Wood Science and Technology. – 1975. – Т. 9. – № 1. – С. 3-14.
93. Chafe S. C. Cell wall formation and "protective layer" development in the xylem parenchyma of trembling aspen // Protoplasma. – 1974. – Т. 80. – С. 335-354.
94. De Micco V. et al. Tyloses and gums: a review of structure, function, and occurrence of vessel occlusions // IAWA Journal. – 2016. – Т. 37. – № 2. – С. 186-205.
95. Вакин А. Т. Хранение круглого леса. – М.: Лесная промышленность, 1964. – 428 с.
96. Вакин А. Т. Раневая гниль древесного ствола и условия ее развития // Лесной журнал. – 1962. – Вып. 4. – С. 281-292.
97. Побурение древесины [Электронный ресурс] // Дендрология. – 2021. – URL: <http://dendrology.ru/forest/item/f00/s00/e0000607/index.shtml> (дата обращения: 24.03.2024).
98. Jonsson M. Wet storage for discolouration protection during roundwood storage of three Swedish hardwoods // European Journal of Wood and Wood Products. – 2013. – Т. 71. – № 2. – С. 219-225.
99. Shigo A. L., Hillis W. E. Heartwood, discolored wood, and microorganisms in living trees // Annual Review of Phytopathology. – 1973. – Т. 11. – № 1. – С. 197-222.
100. Яценко–Хмелевский А. А. Основы и методы анатомического исследования древесины. – М.; Л.: Изд-во Акад. наук СССР, 1954. – 338 с.

101. Shigo A. L. Successions of organisms in discoloration and decay of wood // International Review of Forestry Research. – 1967. – T. 2. – C. 237-299.
102. Schmitt U., Liese W. Wound reaction of the parenchyma in *Betula* // IAWA Journal. – 1990. – T. 11. – № 4. – C. 413-420.
103. Romeiro D., Ahmad A., et al. As anatomical features of the xylem could influence wound healing process in trees? // Revista do Instituto Florestal. – 2021. – T. 33. – № 2. – C. 119-138. DOI: <https://doi.org/10.24278/2178-5031.202133201>
104. Kashyap A., et al. Blocking intruders: inducible physico-chemical barriers against plant vascular wilt pathogens // Journal of Experimental Botany. – 2021. – T. 72. – № 2. – C. 184-198. DOI: <https://doi.org/10.1093/jxb/eraa444>
105. Schmitt U., Liese W. Alterations of parenchyma pits due to wound reactions in birch xylem (*Betula pendula* Roth) // Holzforschung (Germany, FR). – 1992.
106. Bauch J., Shigo A. L., Starck M. Wound effects in the xylem of *Acer* and *Betula* species. – 1980.
107. Dujesiefken D., Ebenritter S., Liese W. Wundreaktionen im Holzgewebe bei Birke, Buche und Linde // Holz als Roh- und Werkstoff. – 1989. – T. 47. – № 12. – C. 495-500.
108. Bauch J. Discolouration in the wood of living and cut trees // IAWA Journal. – 1984. – T. 5. – № 2. – C. 92.
109. Magaznieks J., et al. Quality changes during summer–autumn long term storage of birch (*Betula pendula*) round wood // Research for Rural Development. – 2017. – T. 1.
110. Blanchette R. A. Anatomical responses of xylem to injury and invasion by fungi // Defense mechanisms of woody plants against fungi. – Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. – 1992. – C. 76-95.
111. Clausen C.A. Bacterial associations with decaying wood: a review // International Biodeterioration & Biodegradation. – 1996. – T. 37. – № 1-2. – C. 101-107.

112. Dujesiefken D. et al. Tree wound reactions of differently treated boreholes // Journal of Arboriculture. 1999. – T. 25. – № 3. – C. 113.
113. Schmitt U., Liese W., Liese W. Suberin in wound reaction parenchyma of birch xylem (*Betula pendula* Roth): an electron microscopic study // *Holzforschung*. 1991. – T. 45. – № 4. – C. 313-315.
114. Yamada T. Defense mechanisms in the sapwood of living trees against microbial infection // *Journal of Forest Research*. – 2001. – T. 6. – № 3. – C. 127-137.
115. Morris H. et al. Using the CODIT model to explain secondary metabolites of xylem in defense systems of temperate trees against decay fungi // *Annals of Botany*. 2020. – T. 125. – № 5. – C. 701-720.
116. Biggs A.R. Boundary-zone formation in peach bark in response to wounds and *Cytosporaleucostoma* infection // *Canadian Journal of Botany*. – 1984. – T. 62. – № 12. – C. 2814-2821.
117. Biggs A.R. Occurrence and location of suberin in wound reaction zones in xylem of 17 tree species // *Phytopathology*. – 1987. – T. 77. – C. 718-725.
118. Koran Z., Yang K.C. Gum distribution in yellow birch // *Wood Science*. – 1972. – T. 5. – C. 95-101.
119. Parameswaran N., Knigge H., Liese W. Electron microscopic demonstration of a suberised layer in the tylosis wall of beech and oak // *IAWA Journal*. – 1985. – T. 6. – № 3. – C. 269-271.
120. Pearce R.B. Occurrence of decay-associated xylem suberization in a range of woody species // *Eur. J. For. Path.* – 1990. – T. 20. – C. 275-289.
121. Pearce R. B., Holloway P. J. Suberin in the sapwood of oak (*Quercus robur* L.): its composition from a compartmentalization barrier and its occurrence in tyloses in undecayed wood // *Physiol. Plant Pathol.* – 1984. – Vol. 24. – C. 71-81.
122. Pearce R. B., Rutherford J. A wound-associated suberized barrier to the spread of decay in the sapwood of oak (*Quercus robur* L.) // *Physiol. Plant Pathol.* – 1981. – Vol. 79. – P. 359-369.

123. Игнатович Л. В., Игнатович М. О. Теоретический анализ проницаемости древесины вдоль волокон при изготовлении торцового паркета. – 2004.

124. Остриков М. С. О механическом действии молекулярно-поверхностных сил в дисперсных структурах при высыхании и увлажнении. – Киев: Изд. АН УССР, – 1947.

125. Руденко, А. П. Теоретические основы и пути совершенствования процессов массоподготовки и принудительного формования изделий из суспензий различного композиционного состава [Текст] :автореф. дис. ... д-ра техн. наук : 05.21.03 "Технология и оборудование химической переработки биомассы дерева; химия древесины" / А. П. Руденко. – Красноярск, 2001. – 46 с.

126. Способ локального окрашивания древесины : пат. 2773657 С1 Рос. Федерация, МПК В27К 3/08 / № 2021121274 ;заявл. 16.07.2021 ; опубл. 07.06.2022 / В. Н. Ермолин, С. Г. Елисеев, А. В. Намятов, Е. В. Митина ; заявитель ФГБОУ ВО «Сибирский гос. ун-т науки и технологий им. акад. М. Ф. Решетнева». – [Б. м. : б. и.], 2022. – 8 с.

127. Киселевский Д. Б., Самуилов В. Д., Гусев М. В. Программируемая гибель клеток растений: сигналы, передача сигналов, роль митохондрий и хлоропластов // Вестник Московского университета. Сер. 16: Биология. – 2016. – № 1. – С. 51-60.

128. Воздействие высокого уровня кислорода на растения [Электронный ресурс] // Вики Чтение. – 2024. – URL: <https://bio.wikireading.ru/h3UVfmLxXk> (дата обращения: 20.12.2024).

129. Пьянзина Т. А., Трофимов В. А. Влияние активных форм кислорода на гибель клеток меристемы *Alliumfistulosum* // Успехи современного естествознания. – 2006. – № 12. – С. 74-75.

130. ГОСТ 16483.7-71. Древесина. Методы определения влажности . – Введ. 1972–01–01. – М. : Изд-во стандартов, 1971. – 8 с.

131. ГОСТ 16483.34-77. Древесина. Метод определения газопроницаемости . – Введ. 1978-01-01. – М. : Изд-во стандартов, 1977. – 6 с.
132. ГОСТ 16483.10-73. Древесина. Методы определения предела прочности при сжатии вдоль волокон . – Введ. 1974-07-01. – М. : Изд-во стандартов, 1973. – 9 с.
133. ГОСТ 16483.3-84. Древесина. Метод определения предела прочности при статическом изгибе . – Введ. 1985-01-01. – М. : Изд-во стандартов, 1984. – 8 с.
134. ГОСТ 16483.4-73. Древесина. Методы определения ударной вязкости при изгибе . – Введ. 1974-01-01. – М. : Изд-во стандартов, 1973. – 7 с.
135. Елисеев С. Г. Физические и механические свойства древесины : учеб.пособие / С. Г. Елисеев, В. Н. Ермолин, А. В. Ермолина. – Красноярск : СибГУ, 2023. – 80 с.
136. Акинина Е. В., Елисеев, С. Г., Ермолин, В. Н. Влияние особенностей анатомического строения древесины березы на ее проницаемость для жидкостей // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. – 2024. – № 248. – С. 274-290. – DOI 10.21266/2079-4304.2024.248.274-290.
137. Паушева З. П. Практикум по цитологии растений / З. П. Паушева. – 2-е изд., Москва: Колос, 1974. – 288 с.
138. Прозина М. Н. Ботаническая микротехника / М. Н. Прозина. – Москва: Высшая школа, 1960. – 206 с.
139. Фурст Г. Г. Методы анатомо-гистохимического исследования растительных тканей / Г. Г. Фурст. – Москва: Наука, 1979. – 155 с.
140. Москалева В. Е. Строение древесины и его изменение при физических и механических воздействиях / В. Е. Москалева; Акад. наук СССР. Ин-т леса. – Москва: Изд-во Акад. наук СССР, 1957. – 166 с.
141. Растровый электронный микроскоп HitachiTM-1000: использование в биологических исследованиях: учебно-методическое пособие / Голиков А. В., Беспятовых А. В., Сабиров Р. М. / Казань: Казан.ун-т, 2018. – 24 с.

142. Doyle, J. J. Isolation of plant DNA from fresh tissue // Focus. – 1990. – Т. 12. – С. 13-15.
143. Падутов В. Е., Баранов О. Ю., Воропаев Е. В. Методы молекулярно-генетического анализа / В. Е. Падутов, О. Ю. Баранов, Е. В. Воропаев. – Минск: Юнипол, 2007. – 176 с.
144. Картель Н. А., Макеева Е. Н., Мезенко А. М. Генетика: энциклопедический словарь / Н. А. Картель, Е. Н. Макеева, А. М. Мезенко. – Минск: Технология, 1999. – 448 с.
145. White T. J. et al. Amplification and direct sequencing of fungal ribosomal RNA genes for phylogenetics // PCR protocols: a guide to methods and applications. – 1990. – Т. 18. – № 1. – С. 315-322.
146. Побурение [Электронный ресурс] // НИА «СеверПроектСтрой». – 2024. – URL: <http://niaseverproektstroy.ru/index.php/informatsiya/derevyannoe-domostroenie/121-poburenie> (дата обращения: 20.03.2024).
147. Акинина Е. В. Технология формирования текстуры древесины с помощью направленного изменения ее проницаемости // Лесотехнический журнал. – 2025. – Т. 15, № 1(57). – С. 59-71.
148. Акинина Е. В. Особенности развития побурения в древесине березы / Е. В. Акинина [и др.] // Молодые ученые в решении актуальных проблем науки. – Красноярск, 2023. – С. 334-337.
149. Jansen S. et al. Preparation of wood specimens for transmitted light microscopy and scanning electron microscopy // Belgian Journal of Botany. – 1998. – С. 41-49.
150. Ainsworth G. C. Ainsworth & Bisby's dictionary of the fungi. – Cabi, 2008.
151. Pfordt A., et al. Trichoderma afroharzianum ear rot – a new disease on maize in Europe // Frontiers in Agronomy. – 2020. – Т. 2. – С. 547758.
152. Ryvarden L., Johansen I. A preliminary polypore flora of East Africa. – 1980. – С. 449.

153. Ellis M. B., Ellis J. P. Fungi without gills (Hymenomycetes and Gasteromycetes): an identification handbook. – Springer Science & Business Media, 1990.
154. Guglielmo F., et al. A multiplex PCR-based method for the detection and early identification of wood rotting fungi in standing trees // Journal of Applied Microbiology. – 2007. – T. 103. – № 5. – С. 1490-1507.
155. Shuvaev D. N., Kalchenko L. I. Identification of *Heterobasidion annosum* (Fr.) Brefsl pestholes in Altai Krai by the methods of DNA-analysis. – 2016.
156. Westermeier R. Electrophoresis in practice / R. Westermeier. – WILEY-VCH Verlag: Weinheim, 2001. – С. 349.
157. The National Center for Biotechnology Information (NCBI)[Electronic resource]. – 2022. URL: <https://blast.ncbi.nlm.nih.gov/Blast.cgi> (дата обращения: 25.09.2024).
158. ГОСТ 9462-88. Лесоматериалы круглые лиственных пород. Технические условия . – Введ. 1989-01-01. – М. :Стандартинформ, 1988. – 24 с.
159. ГОСТ 19773-84. Пиломатериалы хвойных и лиственных пород. Режимы сушки в камерах периодического действия . – Введ. 1985-01-01. – М. :Стандартинформ, 1984. – 12 с.
160. ГОСТ 20022.0-93. Защита древесины. Параметры защищенности . – Введ. 1995-01-01. – М. :Стандартинформ, 1993. – 16 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ А



Рисунок А1 – Патент №2773657