

**СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ/CONSTRUCTION MATERIALS AND PRODUCTS**DOI: <https://doi.org/10.60797/mca.2026.69.1>**ДОЛГОВЕЧНОСТЬ ДРЕВЕСИНЫ ПРИ РЕСТАВРАЦИИ ДЕРЕВЯННЫХ КОНСТРУКЦИЙ В ЗДАНИЯХ**

Обзор

**Кузнецова И.Н.<sup>1,\*</sup>, Громов С.А.<sup>2</sup>**<sup>1</sup>ORCID : 0000-0002-4907-2369;<sup>2</sup>ORCID : 0000-0002-0120-0157;<sup>1,2</sup> Югорский государственный университет, Ханты-Мансийск, Российская Федерация

\* Корреспондирующий автор (irinanikkuz[at]mail.ru)

**Аннотация**

В статье представлены результаты исследований по применению стабилизированной термодревесины мягких лиственных пород (береза) и хвойных пород (на примере сосны) с улучшенной технологией пропитки для повышения долговечности деревянных конструкций при реставрации зданий. Долговечность достигается за счет комплексного подхода, основным элементом которого является улучшенная технология пропитки, а также учет изменения физико-механических свойств древесины до и после обработки. В результате исследований установлено, что улучшенная технология пропитки оказывает положительное влияние на долговечность древесины, это проявляется в значительном снижении влагопоглощения, повышении устойчивости к биопоражениям по сравнению с необработанной древесиной и повышении устойчивости к воздействию агрессивных химических веществ. Основное внимание уделено комплексному подходу, включающему модификацию структуры древесины за счет высокотемпературной сушки и последующей пропитки карбамидом. Установлено, что предложенная технология обеспечивает снижение влагопоглощения, повышение биостойкости и устойчивости к химическим воздействиям. Плотность древесины мягких лиственных пород после обработки увеличивается до 850 кг/м<sup>3</sup> (против 630–650 кг/м<sup>3</sup> до пропитки). Разложение карбамида (NH<sub>2</sub>)<sub>2</sub>CO с образованием аммиака и CO<sub>2</sub> способствует созданию защитного слоя, изменяющего pH среды и препятствующего развитию микроорганизмов.

**Ключевые слова:** модифицированная древесина, термодревесина, стабилизированная термодревесина, высокотемпературная сушка, долговечность, пропитка карбамидом.

**THE DURABILITY OF WOOD IN THE RESTORATION OF TIMBER STRUCTURES IN BUILDINGS**

Review article

**Kuznetsova I.N.<sup>1,\*</sup>, Gromov S.A.<sup>2</sup>**<sup>1</sup>ORCID : 0000-0002-4907-2369;<sup>2</sup>ORCID : 0000-0002-0120-0157;<sup>1,2</sup> Yugra State University, Khanty-Mansiysk, Russian Federation

\* Corresponding author (irinanikkuz[at]mail.ru)

**Abstract**

The article presents the results of research on the use of stabilised thermowood from soft deciduous species (birch) and coniferous species (on the example of pine) with improved imbibition technology to increase the durability of wooden structures during building restoration. Durability is achieved through a complex approach, the main element of which is improved imbibition technology, as well as taking into account changes in the physical and mechanical properties of wood before and after treatment. The research has shown that improved imbibition technology has a positive effect on the durability of wood, as evidenced by a significant reduction in moisture absorption, increased resistance to biological damage compared to untreated wood, and increased resistance to aggressive chemicals. The main focus is on a comprehensive approach that includes modifying the structure of wood through high-temperature drying and subsequent imbibition with urea. It has been established that the suggested technology reduces moisture absorption and increases biological resistance and resistance to chemical effects. The density of soft deciduous wood after treatment increases to 850 kg/m<sup>3</sup> (compared to 630–650 kg/m<sup>3</sup> before impregnation). The decomposition of urea (NH<sub>2</sub>)<sub>2</sub>CO with the formation of ammonia and CO<sub>2</sub> contributes to the creation of a protective layer that changes the pH of the environment and prevents the growth of microorganisms.

**Keywords:** modified wood, thermowood, stabilised thermowood, high-temperature drying, durability, urea imbibition.

**Введение**

Строительные материалы в процессе эксплуатации подвергаются воздействию различных агрессивных сред, а отсутствие надлежащего своевременного ремонта приводит к их постепенному разрушению. Долговечность является ключевым фактором при выборе строительных материалов, особенно при реставрации деревянных конструкций в зданиях.

Объектом исследования в данной работе являются образцы древесины лиственных пород (береза) и хвойных пород (на примере сосны), отобранные для моделирования процесса реставрации. Предмет исследования — влияние комплексной обработки, включающей высокотемпературную сушку (термомодификацию) и последующую пропитку водным раствором карбамида на физико-механические свойства и долговечность материала. Актуальность работы обусловлена необходимостью разработки эффективных и экологических методов продления срока службы исторических



деревянных конструкций, подверженных биоповреждениям и деформациям. Научная новизна работы заключается в установлении оптимальных параметров комбинированной технологии (термомодификации с улучшенной технологией пропитки водным раствором карбамида), обеспечивающей глубокое проникновение состава и стабилизацию структуры древесины. Целью исследования является оценка эффективности предложенной комбинированной технологии для повышения долговечности древесины, используемой в реставрации. Основные задачи для достижения цели:

- анализ влияния высокотемпературной сушки на плотность и гигроскопичность древесины;
- разработка режимов пропитки 30% водным раствором карбамидом для выбранных пород;
- сравнение физико-механических свойств образцов до и после обработки;
- оценка биостойкости и химической устойчивости модифицированных образцов древесины в сравнении с контрольными.

Для продления срока службы деревянных конструкций используются различные методы, направленные на защиту от разрушения, включая пропитку консервирующими составами и другими средствами. Одним из распространенных подходов является пропитка древесины различными консервирующими составами [3], [5], [9]:

- синтетическими полимерами, такими как фенолоформальдегидные и эпоксидные [3];
- гидрофобизаторы на основе этилсиликата калия и бутадиен-стирольного латекса [4];
- кремнийорганические гидрофобизаторы [9].

Процессы разрушения деревянных конструкций замедляются при использовании методов высокотемпературной сушки (стабилизации) древесины [1], представляющей собой альтернативный подход к повышению долговечности.

Метод термомодификации — высокотемпературная сушка (стабилизация) древесины — является эффективным решением для повышения долговечности. Он применяется как в новом строительстве, так и, что особенно важно, для защиты деревянных конструкций при реставрации памятников архитектуры. Данный метод позволяет значительно повысить долговечность деревянных элементов, предотвращая гниение, поражение насекомыми и деформацию под воздействием влаги.

Результаты исследований [1], [2] свидетельствуют о положительном влиянии высокотемпературной сушки на структуру и свойства древесины, что позволяет получать материалы и изделия из цельной древесины (бревна, бруса), обладающие высокой формостабильностью, эксплуатационной стойкостью и долговечностью.

Термодревесина (термомодифицированная древесина) — это стабилизированный древесный материал с заданными физико-механическими характеристиками, получаемый путем термической обработки древесины по особым высокотемпературным технологиям и применяемый при реставрации деревянных конструкций в зданиях памятников архитектуры [6], [7], [8], [11].

Клеточная структура древесины меняется в процессе производства стабилизированной термодревесины под воздействием высокой температуры, что придает материалу особые физико-механические характеристики, обеспечивающие его устойчивость и прочность, которая представлена в таблице 1.

Таблица 1 - Клеточная структура древесины (основные свойства и функции)

DOI: <https://doi.org/10.60797/mca.2026.69.1.1>

Древесные волокна	Содержание, %	Основные свойства и функции
Целлюлоза (древесные волокна)	40–58	Основной структурный компонент, придающий прочность на растяжение. Обеспечивает эластичность древесины. Волокнистая структура. Относительно стабильны древесные волокна, может частично разрушаться при высоких температурах. Снижение прочности при очень высоких температурах.
Лигнин	20–50	Обеспечивает жесткость и прочность на сжатие. Скрепляет волокна целлюлозы, обеспечивая одревеснение. Увеличивается устойчивость к биологическому разрушению.
Гемицеллюлозы	15–38	Связывают волокна целлюлозы и лигнина. Наиболее подвержены деструкции. Разрушение волокон ведет к улучшению стабильности размеров и снижению

Древесные волокна	Содержание, %	Основные свойства и функции
		влагопоглощения.
Экстрактивные вещества	0,8–6,9	<p>Частично испаряются или разлагаются.</p> <p>Придают древесине специфический запах, цвет и устойчивость к биологическому разрушению.</p> <p>Включают в себя смолы, дубильные вещества, эфирные масла, жиры и другие соединения.</p> <p>Могут оказывать влияние на пропитку и склеивание древесины.</p>

### Методы и принципы исследования

В рамках исследования применялся комбинированный метод, включающий термомодификацию с последующей пропиткой водным раствором карбамидом. Для установления оптимальных параметров обработки был применен многофакторный эксперимент. План эксперимента — варьирование ключевых технологических факторов (т.е. переменные) при фиксации остальных параметров (т.е. постоянные). Выходными параметрами (т.е. откликами) процесса, определяющими долговечность, были выбраны: изменение плотности, прочности при сжатии вдоль волокон, влагопоглощения, биостойкости и глубины проникновения пропиточного состава. Переменные факторы и уровни варьирования:

- 1) температура термомодификации: 160°C, 200°C, 240°C;
- 2) давление при пропитке: 1.0 МПа, 1.25 МПа, 1.5 МПа;
- 3) время пропитки: 3 ч, 4 ч, 5 ч.

Постоянные факторы: порода древесины (серии экспериментов для мягких лиственных пород и хвойных пород), влажность образцов перед пропиткой (12%), концентрация водного раствора карбамида составляла 30%, температура раствора при пропитке составляла 30±2°C, конечная влажность после термомодификации составляла 30%.

Полученные экспериментальные данные были подвергнуты статистической обработке. Для каждого режима проводилась статистическая обработка (n=5): расчет среднего значения, стандартного отклонения и коэффициента вариации. Для оценки значимости различий использовался t-критерий Стьюдента (p<0,05). Взаимосвязь откликов и факторов описывалась уравнениями регрессии второго порядка, что позволило выявить оптимальные режимы обработки.

#### 2.1. Экспериментальная часть

Улучшенная технология пропитки. Технология изготовления стабилизированной термодревесины мягких лиственных пород и хвойных пород для улучшения технических характеристик древесины позволяет обеспечить глубокое проникновение защитного раствора в структуру древесины и обеспечивает ее стабилизацию и защиту [10], [12]. Разработанная технология включает следующие этапы:

1. Термомодификация: нагрев в камере при 135–240°C до влажности 30% (деструкция гемицеллюлоз, снижение гигроскопичности), температура (±2°C), время экспозиции (2–4 ч в зависимости от породы).
2. Пропитка карбамидом: раствор 30% водный (NH<sub>2</sub>)<sub>2</sub>CO (pH 7–8), давление 1,5 МПа, время 3,5–4 ч, температура раствора 15–45°C. Уровни варьирования факторов: давление: 1,0–1,5 Мпа, время: 3–5 ч., концентрация: 20–40%.
3. Контроль параметров: влажность образцов перед пропиткой: 12%, температура сушки: 60°C.
4. Испытания древесины выполнялись согласно стандартизованным методам по ГОСТ.

Для оценки глубины пропитки использован метод визуального контроля по изменению цвета на поперечном распиле образца после нанесения индикатора, индикатор — спиртовой раствор фенолфталеина, меняющий цвет в щелочной среде, создаваемой карбамидом. Содержание карбамида в образцах после пропитки и сушки определяли по методу Кьельдаля, модифицированному для анализа общего азота с последующим пересчетом на карбамид. Статистическая обработка данных, а именно, расчет среднего арифметического значения, стандартного отклонения, коэффициента вариации, проводилась для серий из 5 однородных образцов по каждому режиму.

При выборе технологического режима необходимо учитывать рекомендации, представленные в таблице 2.

Таблица 2 - Рекомендации при выборе технологического режима

DOI: <https://doi.org/10.60797/mca.2026.69.1.2>

Фактор, влияющий на пропитку	Влияние на процесс пропитки	Рекомендации при выборе режима
Плотность образцов пород	Чем выше плотность, тем сложнее происходит процесс пропитки древесины.	Для более плотных пород может потребоваться более высокое давление или более длительное время пропитки.
Расположение в стволе: заболонь, центральная часть, ядро, верхняя/нижняя часть ствола	Центральная часть и ядро пропитываются сложнее, чем заболонь. Процесс пропитки верхней части ствола происходит быстрее и проще, чем нижней, более плотной части. Ядро древесины пропитывается сложнее.	При пропитке цельных бревен или бруса следует учитывать разную пропитываемость различных частей ствола.
Дефекты древесины: смолянистость, подсочка хвои, ложное ядро, древесина с волнистой и путанной свилеватостью	Ухудшают качество пропитки.	При подсортировке необходимо отбраковывать древесину с указанными дефектами, так как они препятствуют равномерному распределению пропиточного состава.

### Основные результаты

В результате проведенных исследований установлено, что улучшенная технология пропитки оказывает положительное влияние на долговечность древесины, используемой при реставрации деревянных конструкций в зданиях. Это проявляется в снижении влагопоглощения, повышении устойчивости к биопоражениям и химическим воздействиям.

Ключевые физико-механические свойства контрольных и обработанных образцов представлены в Таблице 3. Физико-механические свойства и показатели долговечности образцов древесины после комплексной обработки и Таблице 4. Физико-механические свойства контрольных образцов древесины до обработки.

Таблица 3 - Физико-механические свойства контрольных образцов древесины до обработки

DOI: <https://doi.org/10.60797/mca.2026.69.1.3>

Параметр	Древесина из мягких лиственных пород	Древесина из хвойных пород
Плотность (при 12% влажности), кг/м <sup>3</sup>	630–650	500–550
Твердость по Бринеллю	3,0	2,5
Устойчивость к гниению	высокая	умеренная
Класс пропитываемости	легко пропитываемые	умеренно пропитываемая

Таблица 4 - Физико-механические свойства и показатели долговечности образцов древесины после комплексной обработки

DOI: <https://doi.org/10.60797/mca.2026.69.1.4>

Параметр	Древесина из мягких лиственных пород	Древесина из хвойных пород
Плотность, кг/м <sup>3</sup>	600–850	400–500
Содержание карбамида после пропитки, %	9–10	8–9
Деформация при сжатии, мм	1,30–1,38	1,85–1,96

Параметр	Древесина из мягких лиственных пород	Древесина из хвойных пород
Величина восстановления после снятия нагрузки, мм	0,7–0,95	0,5–0,65
Влагопоглощение, %	7,2	–
Глубина пропитки, мм	10-15	5-8
Устойчивость к гниению (после обработки)	Повышенная	Повышенная

Отмечено снижение прочности при сжатии после пропитки, снижение является статистически значимым, но, как показывают расчеты, не приводит к критическому уменьшению несущей способности элементов, что тем не менее необходимо учитывать в проектных решениях.

Обработка карбамидом повышает устойчивость к биопоражениям и химическому воздействию, обеспечивая долговечность. Плотность древесины из мягких лиственных пород после пропитки увеличилась до 850 кг/м<sup>3</sup>, увеличение плотности связано с проникновением карбамида в структуру древесины.

Сравнительный анализ изменения ключевых свойств древесины в результате после комплексной обработки представлен в Таблице 5.

Таблица 5 - Сравнительный анализ изменения ключевых свойств древесины в результате после комплексной обработки

DOI: <https://doi.org/10.60797/mca.2026.69.1.5>

Параметр	Древесина из мягких лиственных пород (контрольный)	Древесина из мягких лиственных пород (после обработки)	Изменение, %	Древесина из хвойных пород (контрольный)	Древесина из хвойных пород (после обработки)	Изменение, %
Плотность, кг/м <sup>3</sup>	630–650	600–850	+4...+30	500–550	400–500	~0 / незнач.
Предел прочности при сжатии вдоль волокон, МПа (при W=12% / W=30%)	60/25	45/-	-25/-	46/20	40/-	-13%/-
Влагопоглощение, %	12,0	7,2	-40	н.д.	–	–
Глубина пропитки, мм	–	10-15	+10...15	–	5–8	+5...8
Содержание карбамида, %	0	9-10	+9–10 п.п.	0	8–9	+8–9 п.п.
Устойчивость к гниению	Высокая	Повышенная	–	Умеренная	Повышенная	–

Примечание: п.п. – процентные пункты; изменение плотности рассчитано относительно нижней границы диапазона контрольных образцов; прочность для контрольных образцов хвойных пород в рамках данного исследования не определялась

Статистическая обработка показала, что снижение прочности при сжатии вдоль волокон у обработанных образцов мягких лиственных пород при влажности 12% составило в среднем 8–12% (при  $p < 0,05$ ) по сравнению с контрольными образцами. Для хвойных пород снижение составило 10–15%. Данное снижение является статистически значимым, но, как показали расчеты, не приводит к критическому уменьшению несущей способности элементов реставрируемых конструкций, что необходимо учитывать в проектных решениях.

Биостойкость повышена за счет снижения влагопоглощения на 40% (с 12% до 7,2%), увеличения сопротивления грибкам. Химическая устойчивость обеспечивается за счет разложения карбамида с образованием аммиака и углекислого газа, что описывается следующей химической реакцией:



Измерения pH водной вытяжки из обработанных образцов показали устойчивое значение в диапазоне 9,0–9,8, что подтверждает создание щелочной среды. Глубина проникновения раствора карбамида, определенная индикаторным методом, составила для мягких лиственных пород 10–15 мм, а для хвойных пород – 5–8 мм при оптимальном режиме (т.е. давление 1,5 МПа, время 4 ч). Содержание карбамида в пропитанной древесине после сушки составляет 8–10% от массы сухой древесины для мягких пород и 8–9% для хвойных пород.

### Заключение

Проведенное исследование подтверждает, что стабилизированная термодревесина, полученная с применением улучшенной технологии пропитки, является перспективным материалом при реставрации деревянных конструкций в зданиях, сочетая экологическую безопасность с улучшенными эксплуатационными характеристиками. Экспериментальные данные показали, что после обработки плотность древесины увеличивается на 25–35%, достигая 850 кг/м<sup>3</sup> для мягких лиственных пород, при этом сохраняется естественная текстура материала.

Применение стабилизированной термодревесины, обработанной по улучшенной технологии, обусловлено ее повышенной устойчивостью к гниению, сниженным влагопоглощением (на 40% по сравнению с необработанными образцами) и увеличенным сроком службы, что, в сочетании с относительно доступной ценой, делает ее привлекательным выбором для реставрации (Таблица 5). Особенно рекомендуется применение стабилизированной термодревесины для замены сильно изношенных нижних венцов деревянных срубов в памятниках архитектуры. Лабораторные испытания продемонстрировали, что обработанные образцы сохраняют стабильность размеров при циклическом увлажнении-высыхании, что критически важно для исторических сооружений. Предложенная технология позволяет обеспечить надежную защиту от гниения и разрушения в наиболее уязвимой части здания.

Улучшенная технология пропитки, основанная на использовании карбамида (30% концентрация), обеспечивает не только укрепление структуры древесины и эффективную защиту от вредных воздействий, но и создает щелочную среду (pH 9–10), препятствующую развитию микроорганизмов что, как показали исследования, значительно увеличивает долговечность, предотвращает гниение и разложение. При этом химическая безопасность метода подтверждена анализами на отсутствие выделения токсичных веществ в процессе эксплуатации.

Перспективы дальнейшего совершенствования технологии включают разработку оптимальных режимов обработки для различных пород древесины, а также исследования долговечности материала в различных климатических условиях. Особое внимание следует уделить адаптации метода для работы с ценными историческими породами древесины, часто встречающимися в памятниках архитектуры.

### Благодарности

Авторы выражают благодарность профессору, доктору технических наук Машкину Николаю Алексеевичу.

### Конфликт интересов

Не указан.

### Рецензия

Все статьи проходят рецензирование. Но рецензент или автор статьи предпочли не публиковать рецензию к этой статье в открытом доступе. Рецензия может быть предоставлена компетентным органам по запросу.

### Acknowledgement

The authors express their gratitude to Professor Mashkin Nikolai Alekseevich, Doctor of Technical Sciences.

### Conflict of Interest

None declared.

### Review

All articles are peer-reviewed. But the reviewer or the author of the article chose not to publish a review of this article in the public domain. The review can be provided to the competent authorities upon request.

### Список литературы / References

1. Krutasov B.V. Hydrophobic Modifiers for Restoration of Old Wooden Building in Western Siberia / B.V. Krutasov, M.A. Ylesin, N.A. Mashkin [et al.] // *Functional Materials and Processing Technologies* 11. Key Engineering Materials. — 2018. — Vol. 771. — P. 43–48.
2. Покровская Е.Н. Химико-физические основы увеличения долговечности древесины. Сохранение памятников деревянного зодчества с помощью элементоорганических соединений / Е.Н. Покровская. — Москва : АСВ, 2009. — 136 с.
3. Машкин Н.А. Эксплуатационная стойкость модифицированной древесины в строительных изделиях / Н.А. Машкин. — Новосибирск : НГАСУ, 2001. — 260 с.
4. Elesin M.A. The use of modified wood in the construction of wastewater treatment plants in coal mines of Kuzbass / M.A. Elesin, N.A. Mashkin, B.V. Krutasov [et al.] // *Multidiscipline Modeling in Materials and Structures*. — 2021. — Vol. 17, № 4. — P. 739–746.
5. Соболевский М.В. Карбофункциональные органосиланы и органосилоксаны / М.В. Соболевский, Г.В. Моцарев, В.Р. Розенберг. — Москва : Химия, 1990. — 236 с.
6. Термодерево : интернет-ресурс по модифицированной древесине. — URL: <http://www.termo-wood.ru/> (дата обращения: 03.03.2025).
7. Машкин Н.А. Применение модифицированной древесины в шахтной крепи / Н.А. Машкин, С.А. Громов, В.И. Шкряба // *Эффективные методологии и технологии управления качеством строительных материалов : сборник научных трудов по материалам национальной научно-технической конференции с международным участием, Новосибирск, 16–19 февраля 2021 года.* — Новосибирск, 2021. — С. 99–102.
8. Козорез И.Ф. Применение модифицированной древесины в малоэтажном домостроении / И.Ф. Козорез, В.И. Шкряба, Е.А. Катугина [и др.] // *Наука. Промышленность. Оборона : труды XXI Всероссийской научно-технической*



конференции, посвященной 75-летию победы в Великой Отечественной войне. В 4-х томах, Новосибирск, 07–09 октября 2020 года / под ред. С.Д. Саленко. — Новосибирск : Новосибирский государственный технический университет, 2020. — Т. 3. — С. 151–154.

9. Kuznetsova I.N. The technology for concrete production using an activated mixture of wood procession waste and sand / I.N. Kuznetsova // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. — 2021. — Vol. 1093. — P. 012018. — DOI: 10.1088/1757-899X/1093/1/012018.

10. Кузнецова И.Н. Технология и свойства модифицированной древесины для малоэтажного строительства / И.Н. Кузнецова, С.А. Громов // Вестник Югорского государственного университета. — 2023. — № 1(68). — С. 104–110.

11. Громов С.А. Стабилизирование крупноформатной древесины для малоэтажного домостроения и реставрации памятников деревянного зодчества / С.А. Громов, М.А. Елесин, Н.А. Машкин [и др.] // Научный вестник Арктики. — 2022. — № 12. — С. 73–77.

12. Кузнецова И.Н. Особенности модифицированной древесины для малоэтажного строительства / И.Н. Кузнецова, С.А. Громов // Международный научно-исследовательский журнал. — 2024. — № 6(144). — DOI: 10.60797/IRJ.2024.144.27.

13. Форумы лесной отрасли. — URL: <http://forums.wood.ru/> (дата обращения: 03.03.2025).

### Список литературы на английском языке / References in English

1. Krutasov B.V. Hydrophobic Modifiers for Restoration of Old Wooden Building in Western Siberia / B.V. Krutasov, M.A. Ylesin, N.A. Mashkin [et al.] // Functional Materials and Processing Technologies 11. Key Engineering Materials. — 2018. — Vol. 771. — P. 43–48.

2. Pokrovskaya E.N. Khimiko-fizicheskie osnovy uvelicheniya dolgovechnosti drevesiny. Sokhraneniye pamyatnikov derevyannogo zochestva s pomoshch'yu elementoorganicheskikh soedineniy [Chemical and physical bases for increasing the durability of wood. Preservation of wooden architecture monuments using organoelement compounds] / E.N. Pokrovskaya. — Moscow : ASV, 2009. — 136 p. [in Russian]

3. Mashkin N.A. Ekspluatatsionnaya stoykost' modifitsirovannoy drevesiny v stroitel'nykh izdeliyakh [Operational resistance of modified wood in building products] / N.A. Mashkin. — Novosibirsk : NGASU, 2001. — 260 p. [in Russian]

4. Elesin M.A. The use of modified wood in the construction of wastewater treatment plants in coal mines of Kuzbass / M.A. Elesin, N.A. Mashkin, B.V. Krutasov [et al.] // Multidiscipline Modeling in Materials and Structures. — 2021. — Vol. 17, № 4. — P. 739–746.

5. Sobolevskiy M.V. Karvofunktsional'nye organosilany i organosiloksany [Carbofunctional organosilanes and organosiloxanes] / M.V. Sobolevskiy, G.V. Motsarev, V.R. Rozenberg. — Moscow : Khimiya, 1990. — 236 p. [in Russian]

6. Termoderevo [Thermowood] : online resource on modified wood. — URL: <http://www.termo-wood.ru/> (accessed: 03.03.2025). [in Russian]

7. Mashkin N.A. Primeneniye modifitsirovannoy drevesiny v shakhtnoy krep'i [Application of modified wood in mine supports] / N.A. Mashkin, S.A. Gromov, V.I. Shkryaba // Effektivnye metodologii i tekhnologii upravleniya kachestvom stroitel'nykh materialov [Effective methodologies and technologies for quality management of building materials] : collection of scientific papers based on the materials of the National Scientific and Technical Conference with international participation, Novosibirsk, February 16–19, 2021. — Novosibirsk, 2021. — P. 99–102. [in Russian]

8. Kozorez I.F. Primeneniye modifitsirovannoy drevesiny v maloetazhnom domostroenii [Application of modified wood in low-rise housing construction] / I.F. Kozorez, V.I. Shkryaba, E.A. Katugina [et al.] // Nauka. Promyshlennost'. Oborona [Science. Industry. Defense] : Proceedings of the XXI All-Russian Scientific and Technical Conference dedicated to the 75th anniversary of the victory in the Great Patriotic War. In 4 volumes, Novosibirsk, October 07–09, 2020 / edited by S.D. Salenko. — Novosibirsk : Novosibirsk State Technical University, 2020. — Vol. 3. — P. 151–154. [in Russian]

9. Kuznetsova I.N. The technology for concrete production using an activated mixture of wood procession waste and sand / I.N. Kuznetsova // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. — 2021. — Vol. 1093. — P. 012018. — DOI: 10.1088/1757-899X/1093/1/012018.

10. Kuznetsova I.N. Tekhnologiya i svoystva modifitsirovannoy drevesiny dlya maloetazhnogo stroitel'stva [Technology and properties of modified wood for low-rise construction] / I.N. Kuznetsova, S.A. Gromov // Vestnik Yugorskogo gosudarstvennogo universiteta [Bulletin of Yugra State University]. — 2023. — № 1(68). — P. 104–110. [in Russian]

11. Gromov S.A. Stabilizirovaniye krupnoformatnoy drevesiny dlya maloetazhnogo domostroeniya i restavratsii pamyatnikov derevyannogo zochestva [Stabilization of large-sized wood for low-rise housing construction and restoration of wooden architecture monuments] / S.A. Gromov, M.A. Elesin, N.A. Mashkin [et al.] // Nauchnyy vestnik Arktiki [Scientific Bulletin of the Arctic]. — 2022. — № 12. — P. 73–77. [in Russian]

12. Kuznetsova I.N. Osobennosti modifitsirovannoy drevesiny dlya maloetazhnogo stroitel'stva [Features of modified wood for low-rise construction] / I.N. Kuznetsova, S.A. Gromov // Mezhdunarodnyy nauchno-issledovatel'skiy zhurnal [International Research Journal]. — 2024. — No. 6(144). — DOI: 10.60797/IRJ.2024.144.27. [in Russian]

13. Forumy lesnoy otrasli [Forest Industry Forums]. — URL: <http://forums.wood.ru/> (accessed: 03.03.2025). [in Russian]