

СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА

DOI: 10.34031/2071-7318-2022-7-6-8-16

**Килюшева Н.В., Айзеништадт А.М., Данилов В.Е., Беляев А.О.
Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В.Ломоносова
E-mail: n.volkova@narfu.ru*

ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МИНЕРАЛИЗОВАННОЙ ДРЕВЕСИНЫ

Аннотация. Проведен сравнительный анализ минерализации древесины раствором органо-минерального комплекса в различных режимах: самопроизвольном (путем погружения в емкость с раствором) и принудительном (при автоклавной обработке под избыточным давлением с использованием инертного газа). Данный анализ позволит выявить оптимальные параметры минерализации древесины, что, в свою очередь, поможет решить задачу повышения долговечности и надежности материалов из древесины, предназначенных для эксплуатации в экстремальных климатических условиях. Состав модифицирующего раствора: природный полисахарид арабиногалактан и полиминеральный кварцсодержащий песок (10 % арабиногалактан и 10 % полиминеральный песок). Установлено, что за 24 часа обработки плотность древесины сосны увеличивается на 18 % (при самопроизвольном протекании процесса этот параметр увеличивается лишь на 10 %). Увеличение плотности образцов приводит к возрастанию их прочности при сжатии на 80 % (при самопроизвольной обработке) и на 91 % (при автоклавировании). Твердость по Бринеллю опытных образцов возрастает более, чем в три раза (не зависимо от условий проведения процесса). Получена детальная характеристика отдельных стадий процесса термического разложения древесины опытных образцов. Установлено, что для модифицированных образцов (по сравнению с контрольными) степень термической деструкции значительно уменьшается.

Ключевые слова: минерализация древесины, плотность, твердость, прочность, термогравиметрия, термическая деструкция, самопроизвольная и принудительная обработка.

Введение. Известно, что в условиях эксплуатации, характеризующихся повышенной влажностью и знакопеременными температурами, строительные материалы из древесины значительно ухудшают свои физико-механические и водно-физические свойства [1, 2]. Кроме того, климат, влажность, структура почвы, температура воздуха – все это влияет на качественный состав древесины и плотность, которая, в свою очередь, прямо пропорциональна ее прочности [3, 4].

Одним из путей решения задачи, связанной с повышением долговечности и надежности материалов из древесины, предназначенных для эксплуатации на арктических и приарктических территориях, является ее поверхностная минерализация композициями, содержащими минеральные наночастицы [5]. Вместе с тем, современные защитные составы для древесины должны отвечать требованиям экологической чистоты, а их разработка – основываться на результатах исследований, связанных с защитной модификацией как основной массы, так и поверхностных частей этого растительного полимера [6, 7].

Улучшениями свойств древесины и ее модификацией путем минерализации древесной матрицы занимаются ученые из многих стран. Наиболее существенных результатов, по нашему мнению, добились японские ученые [8, 9] в плане

ускоренного «окаменения» древесины путем ее силификации (пропитки кремнеземом). В результате модификации у древесины снижается показатель водопоглощения и, как следствие, уменьшается риск заражения микроорганизмами.

Процесс петрификации («окаменения») растительного сырья имеет диффузионный характер и протекает в естественных условиях крайне медленно. Примерная скорость замещения органики по расчетам ученых составляет около 1 мм в каждые 1500 лет [10]. Учитывая опыт проведенных работ, а также исследований в области улучшения свойств древесины [11–14], можно предположить, что процесс петрификации древесины значительно ускоряется, если отработать специальную технологию пропитки древесины составом, содержащим необходимый минеральный компонент [15–18].

Принципиально данная технология заключается в обработке материалов из древесины растворимым комплексом, который получают из природного полисахарида арабиногалактана и наноразмерных кварцсодержащих минералов горных пород различного генезиса [19], например, полиминерального кварцсодержащего песка (ПКП). Необходимую для такой обработки степень дисперсности минерального компонента получают механическим способом активации [20,

21]. Стабилизатором агрегативной и седиментационной устойчивости частиц полученных суспензий является также органический компонент комплекса – арабиногалактан (АГ). АГ – полисахарид, который содержится в растительном сырье и прекрасно растворяется в воде [22–24]. Подобные полисахариды, благодаря своему строению и способности проникать сквозь клеточную мембрану, в составе комплексного соединения с нерастворимыми веществами могут выступать в качестве полимерной матрицы в процессе петрификации древесины [25].

Ранее нами проведена серия экспериментов, где органо-минеральным комплексом, содержащим вышеупомянутые компоненты (ПКП и АГ), были обработаны образцы древесины сосны. В результате этих исследований установлено, что в самопроизвольном режиме проведения процесса максимальное относительное увеличение плотности образцов, достигаемое за сутки, ограничивалось 12 %, что, в свою очередь, обеспечивало увеличение прочности вдоль волокон и твердости на 47 и 71 % соответственно [22]. Установлен оптимальный состав органо-минерального комплекса, который характеризуется содержанием компонентов по массе: 10 % АГ + 10 % ПКП [26]. Вместе с тем, согласно литературным данным [25], можно повысить эффективность процесса минерализации древесной матрицы путем проведения процедуры в принудительном режиме, например, в автоклаве под избыточным давлением. Причем, авторы этой работы показали, что целесообразно длительность процесса ограничивать 24 часами (в случаях самопроизвольного протекания процесса или автоклавирования). Экспериментальная проверка данной гипотезы и является целью данных исследований.

Материалы и методы. Опытные образцы с размером основания 20×20 мм и высотой вдоль волокон 30 мм изготавливались из сосны обыкновенной (*Pinus Sylvestris L.*), затем доводились при температуре 105 °С до постоянной массы. Остаточная влажность образцов не превышала 2 %. Для минеральной модификации опытных образцов готовили раствор органо-минерального комплекса с содержанием компонентов (по массе) 10 % АГ + 10 % ПКП. В качестве арабиногалактана использовали пищевую добавку «Лавитол-арабиногалактан» в исходном состоянии без предварительной очистки и перекристаллизации. В качестве исходного сырьевого материала минерального компонента (ПКП) использовали полиминеральный песок месторождения «Краснофлотский-Запад» (г. Архангельск), основными

породообразующими минералами которого являются кварц (74 %) и альбит (17 %). Химический состав ПКП определялся по результатам рентгенофлуоресцентного анализа, выполненного с помощью анализатора ПРФА «МетЭксперт». Методика приготовления раствора органо-минерального комплекса детально отработана и приведена нами в работе [26].

Обработку образцов проводили двумя способами: самопроизвольно – путем погружения в емкость с раствором, используя пригруз, а также принудительно – в автоклаве при избыточном давлении.

После проведения процесса пропитки опытные образцы извлекались из реакционной системы, доводились до постоянной массы при температуре 45 °С. Масса образцов до и после модификации определялась на аналитических весах с точностью до $\pm 0,002$ г, их объем рассчитывался исходя из измеренных линейных размеров.

Для изучения влияния повышенного давления на процесс петрификации древесины был изготовлен лабораторный автоклав (рис. 1) емкостью 2 л, позволяющий проводить процесс модификации опытных образцов древесины при максимальном давлении 1,5 МПа, при этом среднее рабочее давление находилось в диапазоне от 1,35 МПа до 1,40 МПа. Для создания избыточного давления в автоклаве использовался инертный газ (аргон).

После модификации опытные образцы анализировались на прочность и твердость. Определение предела прочности при сжатии (R) вдоль волокон выполнялось на прессе ТП-1-100 в соответствии с методикой, описанной в ГОСТ 16483.10-73. Размещение образца происходило между опорными частями прессы, в компьютер вводились данные по скорости равномерного нагружения (25000 ± 5000 Н/мин) и размерные характеристики образца. После нагружения фиксировалось значение максимальной разрушающей нагрузки (P) и осуществлялся расчет предела прочности при сжатии с учетом площади поперечного сечения испытываемых образцов.

Определение твердости образцов осуществлялось по методу Бринелля. Метод регламентирован ГОСТ 9012-59. Образцы испытывались на установке Shimadzu-AGS-X. Образец фиксировали между опорными частями машины, а сверху на боковую сторону помещался стальной шарик диаметром 9,87 мм. С помощью настроек испытания в ПК выставляли нагрузку (245,2 Н), которая соответствует регламентной нагрузке по ГОСТ, и выдерживали в течение 15 секунд. Затем определяли размер отпечатка.

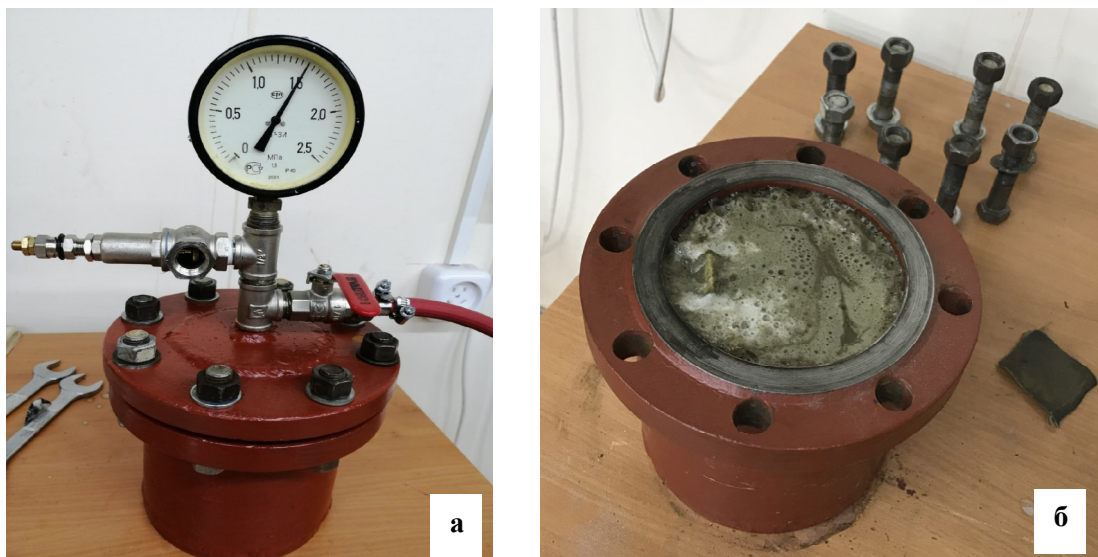


Рис. 1. Фотография автоклава для минерализации опытных образцов древесины:
а – общий вид; б – внутренняя рабочая камера с реакционной системой

Дифференциальный термический анализ (ДТА) опытных образцов (контрольных и после самопроизвольной минерализации) древесины проводился с помощью термогравиметрического анализатора SDT Q650 (TA Instrument Inc., США) в атмосфере азота (скорость потока 50 мл/мин) при скорости нагрева 10 °С/мин в диапазоне температур 30–600 °С.

Основная часть. Исследуемый образец песка месторождения «Краснофлотский-Запад» содержит 91,35 % SiO₂. Экспериментально определенный состав песка (в пересчете на оксиды) показал, что в состав минеральной части входит

5,06 % Al₂O₃. Остальные компоненты находятся в количестве, не превышающем одного процента. Полученные данные показали, что используемый минеральный компонент не содержит элементов, негативно влияющих на здоровье человека.

В таблице 1 приведены результаты, полученные в ходе эксперимента по изменению плотности опытных образцов древесины сосны при их модификации органо-минеральным комплексом состава 10 % АГ + 10 % ПКП в продолжение 24-часовой обработки в самопроизвольном режиме (при температуре 25±2 °С) и автоклавировании.

Таблица 1

Изменение плотности образцов древесины в результате модификации органо-минеральным комплексом

№	Объем образца, см ³	Масса образца, m ₀ , г	Плотность образца до обработки, ρ ₀ , г/см ³	Масса образца, m ₁ , г	Плотность образца после обработки, ρ ₁ , г/см ³	Увеличение плотности Δρ, %	Δρ _{ср} , %
в естественных условиях							
1	10,337	4,223	0,409	4,701	0,455	11	10,7
2	10,830	4,411	0,407	4,831	0,446	10	
3	11,189	4,536	0,405	5,018	0,448	11	
В автоклаве							
4	11,475	5,120	0,446	6,035	0,520	17	18,3
5	10,705	4,912	0,458	5,874	0,551	17	
6	10,057	4,208	0,418	4,889	0,504	21	

Проведенный эксперимент показал, что в автоклавном режиме модификации опытные образцы за 24 часа эксперимента увеличивают плотность по сравнению с процессом самопроизвольной пропитки на 18 %. Эксперимент, связанный с увеличением времени модификации опытных образцов в автоклавном режиме до 48 часов, не привел к существенному увеличению плотности образцов. В этом случае увеличение данного параметра составило 1,5±2,0 %.

Результаты прочностных испытаний модифицированной древесины, представленные в таблице 2, показали, что предел прочности при сжатии вдоль волокон опытных образцов увеличивается (по сравнению с необработанной древесиной) на 80 % в случае проведения процесса в самопроизвольном режиме и на 91 % при автоклавировании.

Таблица 2

Результаты определения предела прочности при сжатии образцов древесины

Способ пропитки	Максимальная разрушающая нагрузка, P_{max} , Н	Предел прочности, R , МПа	Среднее значение, R_{cp} , МПа
Контрольные образцы (без обработки)	16850	42,2	42,0
	16590	41,5	
	16780	42,3	
Самопроизвольный процесс	29530	74,4	75,2
	29850	75,6	
	30090	75,6	
Автоклав	32150	80,4	80,3
	32010	80,5	
	31900	80,1	

Результаты определения твердости образцов (табл. 3) также свидетельствуют о значительном увеличении данного параметра у модифицированной древесины по сравнению с контролем.

Так, модификация древесины органоминеральным комплексом в продолжение 24 часов увеличивает твердость по Бринеллю минерализованной древесины более, чем в три раза.

Таблица 3

Твердость по Бринеллю опытных образцов древесины

Способ пропитки	Приложенная нагрузка, F , Н	Диаметр шарика, D , мм	Диаметр отпечатка, d , мм	Твердость по Бринеллю, HBW , МПа	
				по образцу	средняя по комплексу
Контрольные образцы	245,2	9,87	5,2	1,09	1,09
Самопроизвольный процесс			2,9	3,70	
			2,8	3,98	3,71
			3,0	3,46	
Автоклав			2,9	3,70	3,80
			2,9	3,70	
	2,8	3,98			

На рисунке 2 представлены термограммы TG и d(TG) для части (стружки с поверхности) необработанного и обработанного образца древесины. В процессе термической обработки в диапазоне 100÷600 °С происходит потеря массы образцов, причем, для необработанной древесины эта величина составила практически 95 %. Для модифицированного образца потеря массы в данном температурном интервале составила 78 %. Данный факт свидетельствует об увеличении термической стабильности модифицированных образцов, что может быть отмечено как положительная характеристика, улучшающая пожарно-технические свойства древесины.

По термогравиметрическим кривым для контрольного и модифицированного образцов (рис. 2а) можно выделить три температурных диапазона с изменяющейся скоростью потери массы (с максимумом и с относительно малой постоянной скоростью убыли массы). На первом этапе нагревания древесины происходит ее сушка и удаление остаточных легколетучих компонентов при температуре от 35 до 120÷200 °С. Быстрое увеличение скорости убыли массы при дальнейшем повышении температуры вплоть до ~ 370 °С связано с развитием термодеструкции целлюлозы и

лигнина. На последнем этапе (выше 370 °С) завершается термодеструкция лигнина и происходит сгорание образовавшегося в процессе термического разложения древесины угля. Сравнительный анализ приведенных данных показывает, что процесс деструкции органических составляющих растительного сырья (лигнин, целлюлоза, гемицеллюлоза) для модифицированных образцов протекает заметно менее интенсивно.

Кроме того, следует отметить наличие четкого экзотермического эффекта при температуре 363 °С для контрольных и обработанных образцов, связанного с тем, что разработанный состав работает по классическому механизму дегидратации. Кроме того, образцы минерализованной древесины показали наличие экзоэффектов при температурах 309 и 376 °С, которые слабо выражены для контрольных образцов древесины. Данные экзотермические эффекты свидетельствуют о существенном отличии по удержанию влаги при сушке обработанных и контрольных образцов. Исследуемый состав активно модифицирует компоненты древесины и способствует снижению потери массы образца.

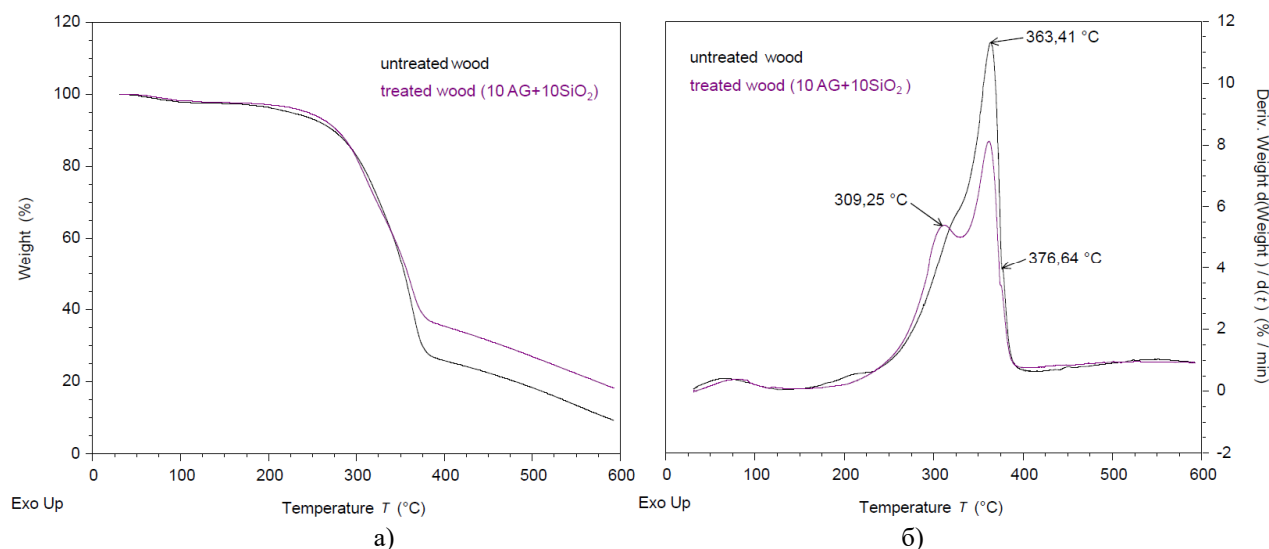


Рис. 2. Термограммы для необработанной и пропитанной древесины (комплекс 10AG + 10SiO₂)
 а – TG ; б – d(TG)

Более детальную характеристику отдельных стадий процесса термического разложения древесины опытных образцов можно получить из анализа производных d(TG) (рис. 2б). Первый пик (слабой интенсивности) на кривой TG образцов древесины связан в основном с удалением физически адсорбированной воды. В интервале термической деструкции гемицеллюлозы и целлюлозы (200 ÷ 350 °C) модифицированные образцы характеризуются меньшим экзотермическим эффектом. Термическая стабильность древесного вещества образцов (выше 350 °C), по-видимому, обусловлена взаимодействием целлюлозы и лигнина, степенью кристалличности целлюлозы. Для модифицированных образцов степень термической деструкции (величина экзотермического эффекта) в этом температурном интервале значительно ниже.

Выводы. Обработка опытных образцов древесины сосны органоминеральным комплексом на основе арабиногалактана и полиминерального кварцевого песка приводит к значительному улучшению физико-механических характеристик растительной матрицы. Установлено, что значительная интенсификация процесса достигается при автоклавной обработке (по сравнению с самопроизвольной). При этом определено, что за 24 часа обработки плотность древесины сосны увеличивается на 18 % (при самопроизвольном протекании процесса этот параметр увеличивается на 10 %). Увеличение плотности образцов приводит к возрастанию их прочности при сжатии на 80 % (при самопроизвольной обработке) и на 91 % (при автоклавировании). Твердость по Бринеллю опытных образцов возрастает более, чем в три раза (не зависимо от условий проведения процесса).

Установлено, что для модифицированных образцов (по сравнению с контрольными) степень термической деструкции в температурном интервале 35 ÷ 600 °C значительно уменьшается.

Исследование выполнено в рамках государственного задания № 0793-2020-0005 с использованием уникальной научной установки «Физико-химия поверхности нанодисперсных систем».

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Elam J., Björdal C. A review and case studies of factors affecting the stability of wooden foundation piles in urban environments exposed to construction work // *International Biodeterioration & Biodegradation*. 2020. 148 p. DOI:10.1016/j.ibiod.2020.104913
2. Moosavinejad S., Madhoushi M., Vakili M., Rasouli D. Evaluation of degradation in chemical compounds of wood in historical buildings using FT-IR and FT-Raman vibrational spectroscopy // *Maderas. Ciencia y tecnología*. 2019. №21(3). Pp 381–392.
3. Marais B., Brischke C., Militz H. Wood durability in terrestrial and aquatic environments – A review of biotic and abiotic influence factors // *Wood Material Science & Engineering*. 2020. Pp. 1–24. DOI: 10.1080/17480272.2020.1779810
4. Lesovik V., Ayzenshtadt A., Frolova M., Lesovik R. and Stroikova V. «Green» Composites for North-Arctic Region Development // *The Open Ecology Journal*. 2014. Т. 7, № 1. Pp. 32–36.
5. Kiliusheva N., Ayzenshtadt A., Danilov V., Stenin A. Organic-mineral modifier for petrification of wood // 18-th International multidisciplinary scientific GeoconferenceSGEM 2018: nano, bio and green-technologies for a sustainable future, 2–8 July, 2018. Vol. 18. Pp. 385–392.

6. Arpino F., Pelliccio A., Cortellessa G., Fratolillo A., Caschera M. Experimental and numerical investigation of the effects of wind exposure on historical towns // *Energy Procedia*. 2017. № 133. Pp. 312–326.
7. Semenzin E., Subramanian V., Pizzol L., Zabeo A., Fransman W., Hristozov C., Marcomini A. Controlling the risks of nano-enabled products through the life cycle: The case of nano copper oxide paint for wood protection and nano-pigments used in the automotive industry. *Environment International*. [Электронный ресурс]: URL : <https://www.pub-facts.com/detail/31279910/Controlling-the-risks-of-nano-enabled-products-through-the-life-cycle-The-case-of-nano-copper-oxide>. (дата обращения: 23.10.2021).
8. Wentao G., Likun G., Shaoliang X., Wenbo Zh. Transparent magnetic wood composites based on immobilizing Fe₃O₄ nanoparticles into a delignified wood template. [Электронный ресурс]. URL: <https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs10853-016-0619-8>. (дата обращения: 25.10.2021).
9. Wentao G., Ying L., Likun G., Xianxu Zh., Jian L. Magnetic Property, Thermal Stability, UV-Resistance, and Moisture Absorption Behavior of Magnetic Wood Composites. [Электронный ресурс]. URL: https://www.researchgate.net/publication/280912829_Magnetic_property_thermal_stability_UV-resistance_and_moisture_absorption_behavior_of_magnetic_wood_composites (дата обращения: 23.10.2021).
10. Mustoe G.E. Wood Petrification: A New View of Permineralization and Replacement // *Geosciences*. 2017. №7(4). Pp. 119/1-119/17. doi:10.3390/geosciences7040119
11. Sivrikaya H., Can A., Yaman B., Palanti S., Morrell J. Effect of tallow impregnation on moisture behavior and decay resistance of various wood species // *Wood Material Science & Engineering*. 2020. №15(6). Pp. 260–268. DOI: 10.1080/17480272.2020.1862298
12. Sivrikaya H., Hosseinpourpia R., Ahmed S., Adamopoulos S. Vacuum-heat treatment of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) wood pretreated with propanetriol // *Wood Material Science & Engineering*. 2020. DOI: 10.1080/17480272.2020.1861085
13. Батин М.О. Повышение биологической стойкости полов из модифицированной древесины введением наноразмерных добавок // *Строительные материалы*. 2018. №1-2. С. 52–57.
14. Dong Y., Yan Y., Ma H., Zhang S., Li J., Xia C., Shi S. Q., Cai L. In-Situ Chemosynthesis of ZnO Nanoparticles to Endow Wood with Antibacterial and UV-Resistance Properties // *Journal of Materials Science & Technology*. 2017. № 33(3). Pp. 266–270.
15. Данилов В.Е., Туробова М.А., Айзенштадт А.М., Русинова Я.М. Гидрофобные покрытия на основе кремнеземсодержащего сырья низкого качества // *Строительные материалы*. 2019. №7. Pp. 61–65.
16. Zaripov Sh., Chizhov A., Kornienko V., Semenova N. The Influence of Water-Soluble Substances on Moisture Distribution in Larch Lumber Before Drying // *Forestry Journal*. 2019. № 6. Pp. 185–193.
17. Zhang N., Xu M., Cai L. Improvement of mechanical, humidity resistance and thermal properties of heat-treated rubber wood by impregnation of SiO₂ precursor // *Scientific Reports*. Vol. 9. 982. 2019.
18. Holy S., Temiz A., Demirel G., Aslan M., Hazim M., Amini M. Physical properties, thermal and fungal resistance of Scots pine wood treated with nano-clay and several metal-oxides nanoparticles // *Wood Material Science & Engineering*. 2020. doi: 10.1080/17480272.2020.1836023
19. Danilov V., Ayzenshtadt A., Kilyusheva N., Makhova T., Belyaev A. Colloid chemical aspects accelerated artificial petrification of wood // *Journal of Physics: Conference Series*. 2019. Vol. 1400. 077053.
20. Bak M., Molnár F., Németh R. Improvement of dimensional stability of wood by silica nanoparticles // *Wood Material Science & Engineering*. 2019. №14. Pp. 48–58. doi: 10.1080/17480272.2018.1528568
21. Zhang N., Xu M., Cai L. Improvement of mechanical, humidity resistance and thermal properties of heat-treated rubber wood by impregnation of SiO₂ precursor [Электронный ресурс]: URL : https://www.researchgate.net/publication/330733381_Improvement_of_mechanical_humidity_resistance_and_thermal_properties_of_heat-treated_rubber_wood_by_impregnation_of_SiO2_precursor. (дата обращения: 21.11.2021).
22. Килюшева Н.В., Айзенштадт А.М., Данилов В.Е., Беляев А.О. Модификация древесины органоминеральным комплексом // *Промышленное и гражданское строительство*. 2020. № 2. С. 47–51.
23. Килюшева Н.В., Айзенштадт А.М., Степин А.А., Морозова М.В. Органоминеральный комплекс для поверхностной минерализации древесины // *Материаловедение*. 2019. №4. С. 45–48.
24. Kilyusheva N., Danilov V., Ayzenshtadt A., Belyaev A. Compounding and technological methods for increasing the efficiency of wood matrix mineralization // *Journal of Physics: Conference Series*, 2020. 1697. 012242.

25. Ишмуратов Ф.Г. Полисахариды: получение и влияние на ингибирование солеотложения и газогидратообразования: автореферат диссертации кандидата Технические наук: 02.00.03 / Ишмуратов Фарид Гумерович; [Место защиты: ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет»], 2018.

26. Danilov V., Ayzenshtadt A., Kilyusheva N., Belyaev A. Wood surface modification with an arabinogalactan–silica composition // Journal of Wood Chemistry and Technology. 2021. Vol. 41(6). Pp. 1–13.

Информация об авторах

Килюшева Наталья Владимировна, аспирантка кафедры композиционных материалов и строительной экологии. E-mail: n.volkova@narfu.ru. Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В.Ломоносова. Россия, 163002, Архангельск, Набережная Северной Двины д.17.

Айзенштадт Аркадий Михайлович, доктор химических наук, профессор, заведующий кафедрой композиционных материалов и строительной экологии. E-mail: a.isenshtadt@narfu.ru. Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В.Ломоносова. Россия, 163002, Архангельск, Набережная Северной Двины д.17.

Данилов Виктор Евгеньевич, кандидат технических наук, доцент кафедры композиционных материалов и строительной экологии. E-mail: v.danilov@narfu.ru. Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В.Ломоносова. Россия, 163002, Архангельск, Набережная Северной Двины д.17.

Беляев Александр Олегович, магистрант. E-mail: mr.oba0509@mail.ru. Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В.Ломоносова. Россия, 163002, Архангельск, Набережная Северной Двины д.17.

Поступила 01.03.2022 г.

© Килюшева Н.В., Айзенштадт А.М., Данилов В.Е., Беляев А.О., 2022

***Kilyusheva N.V., Ayzenshtadt A.M., Danilov V.E., Belyaev A.O.**

Northern (Arctic) Federal University named after M. V. Lomonosov

**E-mail: n.volkova@narfu.ru*

PHYSICAL AND MECHANICAL CHARACTERISTICS OF MINERALIZED WOOD

Abstract. A comparative analysis of the mineralization of wood with a solution of an organic mineral complex in various modes is carried out: spontaneous (by immersion in a container with a solution) and forced (during autoclave treatment under excessive pressure using an inert gas) modes. This analysis will reveal the optimal parameters of wood mineralization, which, in turn, will help to solve the problem of increasing the durability and reliability of wood materials intended for use in extreme climatic conditions. The composition of the modifying solution is natural polysaccharide arabinogalactan and polymineral quartz-containing sand (10 % arabinogalactan and 10 % polymineral sand). It is found that during 24 hours of processing, the density of pine wood increases by 18 % (with spontaneous flow of the process, this parameter increases by only 10 %). An increase in the density of samples leads to an increase in their compressive strength by 80 % (during spontaneous processing) and by 91 % (during autoclaving). The Brinell hardness of the prototypes increases more than three times (regardless of the conditions of the process). A detailed description of the individual stages of the process of thermal decomposition of the wood of the prototypes is obtained. It is found that for modified samples (compared with control ones), the degree of thermal destruction is significantly reduced.

Keywords: mineralization of wood, density, hardness, strength, thermogravimetry, thermal destruction, spontaneous and forced processing.

REFERENCES

1. Elam J., Björdal C. A review and case studies of factors affecting the stability of wooden foundation piles in urban environments exposed to construction work. *International Biodeterioration & Biodegradation*. 2020. 148 p. doi:10.1016/j.ibiod.2020.104913
2. Moosavinejad S., Madhoushi M., Vakili M., Rasouli D. Evaluation of degradation in chemical compounds of wood in historical buildings using FT-IR and FT-Raman vibrational spectroscopy.

Maderas. *Ciencia y tecnología*. 2019. No.21(3). Pp 381–392.

3. Marais B., Brischke C., Militz H. Wood durability in terrestrial and aquatic environments – A review of biotic and abiotic influence factors. *Wood Material Science & Engineering*. 2020. Pp. 1–24. doi: 10.1080/17480272.2020.1779810

4. Lesovik V., Ayzenshtadt A., Frolova M., Lesovik R. and Stroikova V. «Green» Composites for North-Arctic Region Development. *The Open Ecology Journal*. 2014. Vol. 7, No. 1. Pp. 32–36.

5. Kiliusheva N., Ayzenshtadt A., Danilov V., Stenin A. Organic-mineral modifier for petrification of wood. 18-th International multidisciplinary scientific Geoconference SGEM 2018: nano, bio and green-technologies for a sustainable future, 2–8 July, 2018. Vol. 18. Pp. 385–392.
6. Arpino F., Pelliccio A., Cortellessa G., Fratolillo A., Caschera M. Experimental and numerical investigation of the effects of wind exposure on historical towns. *Energy Procedia*. 2017. No. 133. Pp 312–326.
7. Semenzin E., Subramanian V., Pizzol L., Zabeo A., Fransman W., Hristozov C., Marcomini A. Controlling the risks of nano-enabled products through the life cycle: The case of nano copper oxide paint for wood protection and nano-pigments used in the automotive industry. *Environment International*. URL: <https://www.pubfacts.com/detail/31279910/Controlling-the-risks-of-nano-enabled-products-through-the-life-cycle-The-case-of-nano-copper-oxide>. (date of treatment: 23.10.2021).
8. Wentao G., Likun G., Shaoliang X., Wenbo Zh. Transparent magnetic wood composites based on immobilizing Fe₃O₄ nanoparticles into a delignified wood template. URL: <https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs10853-016-0619-8>. (date of application: 25.10.2021).
9. Wentao G., Ying L., Likun G., Xianxu Zh., Jian L. Magnetic Property, Thermal Stability, UV-Resistance, and Moisture Absorption Behavior of Magnetic Wood Composites. URL: https://www.researchgate.net/publication/280912829_Magnetic_property_thermal_stability_UV-resistance_and_moisture_absorption_behavior_of_magnetic_wood_composites. (date of treatment: 23.10.2021).
10. Mustoe G.E. Wood Petrification: A New View of Permineralization and Replacement. *Geosciences*. 2017. No.7(4). Pp. 119/1-119/17. doi:10.3390/geosciences7040119
11. Sivrikaya H., Can A., Yaman B., Palanti S., Morrell J. Effect of tallow impregnation on moisture behavior and decay resistance of various wood species. *Wood Material Science & Engineering*. 2020. No.15(6). Pp. 260–268. doi: 10.1080/17480272.2020.1862298
12. Sivrikaya H., Hosseinpourpia R., Ahmed S., Adamopoulos S. Vacuum-heat treatment of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) wood pretreated with propanetriol. *Wood Material Science & Engineering*. 2020. doi: 10.1080/17480272.2020.1861085
13. Batin M.O. Increasing the biological resistance of floors made of modified wood by the introduction of nanoscale additives [Povy'shenie biologicheskoy stojkosti polov iz modifitsirovannykh drevesiny' vvedeniem nanorazmerny'x dobavok]. *Building materials*. 2018. No. 1–2. Pp. 52–57. (rus)
14. Dong Y., Yan Y., Ma H., Zhang S., Li J., Xia C., Shi S. Q., Cai L. In-Situ Chemosynthesis of ZnO Nanoparticles to Endow Wood with Antibacterial and UV-Resistance Properties. *Journal of Materials Science & Technology*. 2017. No.33(3). Pp. 266–270.
15. Danilov V. E., Turobova M. A., Ayzenshtadt A. M., Rusinova Ya. M. Hydrophobic coatings based on silica-containing raw materials of low quality [Gidrofobny'e pokry'tiya na osnove kremnezemsoderzhashhego sy'r'ya nizkogo kachestva]. *Building materials*. 2019. No.7. Pp. 61–65. (rus)
16. Zaripov Sh., Chizhov A., Kornienko V., Semenova N. The Influence of Water-Soluble Substances on Moisture Distribution in Larch Lumber Before Drying. *Forestry Journal*. 2019. No.6. Pp. 185–193.
17. Zhang N., Xu M., Cai L. Improvement of mechanical, humidity resistance and thermal properties of heat-treated rubber wood by impregnation of SiO₂ precursor. *Scientific Reports*. Vol. 9. 982.2019.
18. Holy S., Temiz A., Demirel G., Aslan M., Hazim M., Amini M. Physical properties, thermal and fungal resistance of Scots pine wood treated with nano-clay and several metal-oxides nanoparticles. *Wood Material Science & Engineering*. 2020. doi: 10.1080/17480272.2020.1836023
19. Danilov V., Ayzenshtadt A., Kilyusheva N., Makhova T., Belyaev A. Colloid chemical aspects accelerated artificial petrification of wood. *Journal of Physics: Conference Series*. 2019. Vol. 1400. 077053.
20. Bak M., Molnár F., Németh R. Improvement of dimensional stability of wood by silica nanoparticles. *Wood Material Science & Engineering*. 2019. No.14. Pp. 48–58. doi: 10.1080/17480272.2018.1528568
21. Zhang N., Xu M., Cai L. Improvement of mechanical, humidity resistance and thermal properties of heat-treated rubber wood by impregnation of SiO₂ precursor. URL: <https://www.researchgate.net/publication/330733381> Improvement of mechanical humidity resistance and thermal properties of heattreated rubber wood by impregnation of SiO₂ precursor. (date of treatment: 21.11.2021).
22. Kilyusheva N.V., Ayzenshtadt A.M., Danilov V.E., Belyaev A.O. Modification of wood by organomineral complex [Modifikatsiya drevesiny' organomineral'ny'm kompleksom Industrial and civil construction]. 2020. No 2. Pp. 47–51. (rus)
23. Kilyusheva N.V., Ayzenshtadt A.M., Stenin A.A., Morozova M.V. Organic-mineral complex for surface mineralization of wood [Organomineral'ny'j kompleks dlya poverkhnostnoj mineralizatsii

drevesiny`]. Materials Science. 2019. No. 4. Pp. 45–48. (rus)

24. Kilyusheva N., Danilov V., Ayzenshtadt A., Belyaev A. Compounding and technological methods for increasing the efficiency of wood matrix mineralization. Journal of Physics: Conference Series, 2020. 1697. 012242.

25. Ishmuratov F.G. Polysaccharides: preparation and effect on the inhibition of salt deposition and gas hydrate formation: abstract of the dissertation of

the Candidate of Technical Sciences [Polisaxaridy`: poluchenie i vliyanie na ingibirovanie soleotlozheniya i gazogidratoobrazovaniya: avtoreferat dissertacii kandidata Texnicheskix nauk]. Ufa State Petroleum Technical University, 2018. (rus)

26. Danilov V., Ayzenshtadt A., Kilyusheva, N., Belyaev A. Wood surface modification with an arabinogalactan–silica composition. Journal of Wood Chemistry and Technology. 2021. Vol. 41(6). Pp. 1–13.

Information about the authors

Kiliusheva, Natalia V. Postgraduate student. E-mail: n.volkova@narfu.ru. Northern (Arctic) Federal University named after M. V. Lomonosov. Russia, 163002, Arkhangelsk, Northern Dvina embankment, 17.

Ayzenshtadt, Arcady M. DSc, Professor. E-mail: a.isenshtadt@narfu.ru. Northern (Arctic) Federal University named after M. V. Lomonosov. Russia, 163002, Arkhangelsk, Northern Dvina embankment, 17.

Danilov, Victor E. docent. E-mail: v.danilov@narfu.ru. Northern (Arctic) Federal University named after M. V. Lomonosov. Russia, 163002, Arkhangelsk, Northern Dvina embankment, 17.

Belyaev, Alexander O. DSc, Professor E-mail: mr.oba0509@mail.ru. Northern (Arctic) Federal University named after M. V. Lomonosov. Russia, 163002, Arkhangelsk, Northern Dvina embankment, 17.

Received 01.03.2022

Для цитирования:

Кильюшева Н.В., Айзенштадт А.М., Данилов В.Е., Беляев А.О. Физико-механические характеристики минерализованной древесины // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2022. № 6. С. 8–16. DOI: 10.34031/2071-7318-2022-7-6-8-16

For citation:

Kiliusheva N.V., Ayzenshtadt A.M., Danilov V.E., Belyaev A.O. Physical and mechanical characteristics of mineralized wood. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2022. No. 6. Pp. 8–16. DOI: 10.34031/2071-7318-2022-7-6-8-16