



ПОВЫШЕНИЕ ВОДОСТОЙКОСТИ ДРЕВЕСИНЫ ПРОПИТОЧНЫМ СОСТАВОМ НА ОСНОВЕ РАСТИТЕЛЬНОГО МАСЛА С НАНОПОРОШКОМ ДИОКСИДА КРЕМНИЯ

Елена В. Томина¹, tomina-e-v@yandex.ru, 0000-0002-5222-0756

Александр И. Дмитренко¹, dmitrenkov2109@mail.ru, 0000-0001-9296-1762

Константин В. Жужукин¹, kinkon18@yandex.ru, 0000-0002-7093-3274

Наталья А. Ходосова¹, nhodosova@mail.ru, 0000-0002-2809-717X

Николай В. Мозговой², nv_moz@mail.ru, 0000-0001-9835-1824

¹ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г. Ф. Морозова», ул. Тимирязева, 8, г. Воронеж, 394087, Россия

²ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», г. Воронеж, Российская Федерация

Целью работы явилась разработка и исследование новых составов для обработки природной древесины на основе отработанного растительного масла с добавками наноразмерного оксида кремния для получения древесного композита с улучшенными свойствами. В качестве объектов исследования были выбраны образцы древесины березы. Основу разрабатываемых пропиточных составов составляло отработанное фритюрное растительное масло. В состав композиций вводили добавки нанопорошков аморфного и кристаллического оксида кремния в дозировке от 0.01 до 0.5 %. Для модифицирования древесины готовили устойчивую суспензию синтезированных нанопорошков оксидов кремния в отработанном подсолнечном масле. Обработку образцов древесины осуществляли методом «горяче-холодной пропитки». Полученные древесные композиты с добавками наноразмерного оксида кремния имели улучшенные гидрофобные свойства древесины (увеличение краевого угла смачивания на 30 %), повышенную влаго- и водостойкость (в 11 и 14 раз, соответственно), а также уменьшенное разбухание в тангенциальном (в 4 раза) и радиальном (в 5 раз) направлениях в сравнении с натуральной древесиной после 1 суток испытаний. Выбрана оптимальная дозировка нанопорошков оксида кремния (0.01 %). Проведена сравнительная оценка использования аморфного и кристаллического оксидов кремния в пропиточных составах на основе отработанного растительного масла на примере древесины березы. Пропиточные составы на основе отработанного растительного масла обладают низкой токсичностью, и их использование позволяет утилизировать отходы производства.

Ключевые слова: наноразмерный оксид кремния, древесина березы, суспензия, краевой угол смачивания, водопоглощение, влагопоглощение, электронная микроскопия

Благодарности: Авторы статьи благодарят ЦПК ВГУ за проведение исследований на просвечивающем электронном микроскопе, а также за рентгенофазовый анализ.


Авторы благодарят рецензентов за вклад в экспертную оценку статьи.


Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.



Для цитирования: Повышение водостойкости древесины пропиточным составом на основе растительного масла с диоксидом кремния / Е. В. Томина, А. И. Дмитренко, К. В. Жужукин, Н. А. Ходосова, Н. В. Мозговой // Лесотехнический журнал. – 2022. – Т. 12. – № 2 (46). – С. 68–79. – Библиогр.: с. 76–78 (20 назв.). – DOI: <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2022.2/6>.


Поступила: 20.05.2022 **Принята к публикации:** 29.06.2022 **Опубликована онлайн:** 01.07.2022


INCREASING WATER RESISTANCE OF WOOD WITH IMPREGNANT COMPOSITION BASED ON VEGETABLE OIL WITH SILICON DIOXIDE NANOPOWDER

Elena V. Tomina¹, tomina-e-v@yandex.ru,  0000-0002-5222-0756

Alexander I. Dmitrenkov¹, dmitrenkov2109@mail.ru,  0000-0001-9296-1762

Konstantin V. Zhuzhukin ¹, kinkon18@yandex.ru,  0000-0002-7093-3274

Natalia A. Khodosova¹, nhodosova@mail.ru,  0000-0002-2809-717X

Nikolay V. Mozgovoy², nv_moz@mail.ru,  0000-0001-9835-1824

¹Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Timiryazeva str., 8, Voronezh city, 394087, Russian Federation

²FSBEI HE "Voronezh State Technical University", Voronezh, Russian Federation

Abstract

The aim of the work was to develop and study new compositions for the treatment of natural wood based on used vegetable oil with the addition of nanosized silicon oxide to obtain a wood composite with improved properties. Specimens of birch wood were chosen as objects of the study. The basis of the developed impregnating compositions was used frying vegetable oil. The compositions were supplemented with additives of amorphous and crystalline silicon oxide nanopowders at a dosage of 0.01 to 0.5%. To modify wood, a stable suspension of synthesized silicon oxide nanopowders in used sunflower oil was prepared. The processing of wood specimens was carried out by the method of "hot-cold impregnation". The obtained wood composites with the addition of nanosized silicon oxide had improved hydrophobic properties of wood (an increase in the contact angle by 30%), increased moisture and water resistance (by 11 and 14 times, respectively), as well as reduced swelling in the tangential (by 4 times) and radial (5 times) directions in comparison with natural wood after 1 day of testing. The optimal dosage of silicon oxide nanopowders (0.01%) was chosen. A comparative evaluation of the use of amorphous and crystalline silicon oxides in impregnating compositions based on used vegetable oil was carried out using birch wood as an example. Impregnation compositions based on waste vegetable oil have low toxicity and their use makes it possible to dispose of production waste.

Keywords: nanosized silicon oxide, birch wood, suspension, contact angle, water absorption, moisture absorption, electron microscopy

Acknowledgement: The authors of the article thank the CPC of VSU for conducting research on a transmission electron microscope, as well as for X-ray phase analysis. The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work.

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

For citation: Tomina E. V., Dmitrenkov A. I., Zhuzhukin K. V., Khodosova N. A., Mozgovoy N. V. (2022) Improving water resistance of wood with an impregnating composition based on vegetable oil with silicon dioxide. *Lesotekhnicheskii zhurnal* [Forest Engineering journal], Vol. 12, No. 2 (46), pp. 68-79 (in Russian). DOI: <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2022.2/6>.

Received: 20.05.2022 **Revised:** 20.06.2022 **Accepted:** 29.06.2022 **Published online:** 01.07.2022

Введение

Российская Федерация является одной из ведущих стран по занимаемой лесами

территории, а также по запасам лесных ресурсов. Однако вследствие урбанизации территории, пожаров, промышленной деятельности человека и

других неблагоприятных факторов эти ресурсы непрерывно сокращаются и требуют все больших усилий и средств на их воспроизводство. Поэтому актуальной задачей является рациональное использование древесного сырья и применение методов и технологий защитной обработки природной древесины с целью продления её срока службы.

Природная древесина имеет целый ряд недостатков: изменчивость свойств, анизотропия, наличие пороков, способность поглощать влагу из окружающей среды, приводящей к увеличению размеров, формы, веса и снижению прочности. Модификация натуральной древесины различными веществами и составами направлена на преодоление этих недостатков [1, 2]. Древесные композиты, благодаря комплексу улучшенных эксплуатационных характеристик, применяются в различных отраслях промышленности [1, 3].

В то же время актуальной является проблема утилизации и рационального использования отходов и вторичных продуктов различных производств. К одним из таких отходов относится использованное для приготовления продуктов и полуфабрикатов фритюрное растительное масло. Оно в больших количествах образуется на предприятиях пищевой индустрии и переработка таких отходов является трудоемкой и дорогостоящей, требующей специального оборудования.

В последнее время особое внимание уделяется экологической безопасности веществ и составов, применяемых для повышения срока службы древесины и материалов на её основе. С учетом данных особенностей были разработаны технологии получения экологически чистых древесно-пластиковых композитов, получаемых из биополимеров, включенных в нефтехимическую пластиковую матрицу, обладающих высокой долговечностью [7-8].

Всё большее применение находят полимерные композиты, армированные натуральными волокнами [9-10], благодаря своей экологичности и экономичности производственного процесса. Такие материалы находят свое применение в различных областях

машиностроения, строительстве и даже в биомедицинских применениях.

Для повышения формостабильности и других показателей натуральной древесины в работе [11] был использован новый простой и экологически чистый метод её модификации путем обработки водорастворимыми виниловыми мономерами. Модифицирование проводили на примере быстрорастущей древесины тополя.

Экологически безопасными являются составы для обработки древесины на основе силоксанов [12-13]. После нанесения на древесину и последующего нагревания происходит химическое взаимодействие компонентов состава с компонентами древесного вещества с образованием на поверхности древесины водоотталкивающего покрытия, эффективно защищающего изделие от влаги и других неблагоприятных воздействий.

Для создания древесных композитов с повышенными гидрофобными показателями и защиты древесных изделий от УФ-излучения применялись [14] эмульсии на основе растительных масел. Результаты проведенных исследований [15] показывают, что термическая обработка при температуре 200 °С в сочетании с воздействием горячим конопляным маслом существенно больше влияет на свойства древесины бука, чем сама термическая обработка. Метод является экологически чистым и улучшает такие важные характеристики древесины, как цвет, гигроскопичность, стабильность размеров, механические показатели и устойчивость к биологическим факторам.

Получение древесных композитов с использованием наноразмерных оксидов металлов [16-18] позволяет придать поверхности обработанной древесины супергидрофобные свойства и повысить её биостойкость. Модификация натуральной древесины составами, содержащими наноразмерные частицы оксида цинка, оксида титана и оксидов других металлов, а также наноглин [19] позволяет не только улучшить водоотталкивающие свойства поверхности древесины, снизить ее водопоглощение, но и повысить стойкость к воздействию грибов.

В работах [20] показана эффективность использования наночастиц диоксида кремния (SiO_2) для армирования древесно-пластиковых композитов. Так, применение нанопорошка SiO_2 в качестве армирующего агента композитов из скорлупы грецкого ореха и полиэтилена высокой плотности позволяет существенно улучшить механические и физические свойства модифицированных композитов.

В наших предыдущих исследованиях [4-5] показана перспективность использования отработанных растительных масел, являющимися отходами пищевой промышленности, для защитной обработки и модификации натуральной древесины.

Важную роль в разработке новых композитов на основе древесины играют наноматериалы, которые могут быть использованы для влияния и контроля физических свойств и специфических характеристик других материалов [6]. Природная древесина является идеальной матрицей для введения различных наночастиц, которые способствуют приданию композитам совершенно уникальных свойств.

Поэтому целью данной работы явилась разработка и исследование новых составов для обработки природной древесины на основе отработанного растительного масла с добавками наноразмерного оксида кремния для получения древесного композита с улучшенными гидрофобными свойствами, повышенной влаго- и водостойкостью.

Материалы и методы

Для испытаний использовали образцы древесины березы повислой (*Betula pendula* Roth) стандартных размеров 20×20 мм в радиальном и тангенциальном направлениях, высотой вдоль волокон 10 мм, заготовленные в Учебно-опытном лесхозе ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова». Береза относится к одной из самых распространенных лиственных пород на территории Российской Федерации и занимает промежуточное положение между твердыми и мягкими породами древесины.

Для модифицирования древесины применяли использованное в пищевой индустрии рафинированное подсолнечное масло, которое предварительно отстаивали и профильтровывали. Согласно Федеральному классификационному каталогу отходов (редакция от 18.11.2021) отходы фритюра на основе растительного масла имеют низкую токсичность и относятся к отходам 4 класса опасности (код ФККО:736 111 11 3 24). Для усиления модифицирующего воздействия отработанного масла в состав композиций вводили добавки нанопорошков оксида кремния в дозировке от 0.1 до 1 %.

Для синтеза наночастиц оксида кремния 53 мл 70% раствора уксусной кислоты (CH_3COOH) добавляют в силикатный клей ($\text{Na}_2\text{SiO}_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$) при постоянном перемешивании магнитной мешалкой. После выпадения согласно реакции (1) гелеобразного осадка перемешивание продолжают еще в течение одного часа, а затем осадок отфильтровывают, многократно промывают дистиллированной водой, чтобы избавиться от следов уксусной кислоты. Затем осадок высушивают в сушильном шкафу при 110°C в течение 30-ти минут для удаления гидратной воды (2), получая аморфный оксид кремния.

$$\text{Na}_2\text{SiO}_3 + 2\text{CH}_3\text{COOH} \rightarrow \text{H}_2\text{SiO}_3 + 2\text{CH}_3\text{COONa} \quad (1)$$
$$\text{H}_2\text{SiO}_3 \rightarrow \text{SiO}_2 + \text{H}_2\text{O} \quad (2)$$

Для получения кристаллического оксида кремния аморфный порошок подвергали прокаливанию при температуре 450°C в течение 1 часа.

Модифицирование осуществляли методом «горяче-холодных ванн». Для приготовления устойчивой суспензии синтезированного нанопорошка оксида кремния в отработанном подсолнечном масле к заданному объему растительного масла постепенно добавляли определенное количество нанопорошка при перемешивании магнитной мешалкой. Пропитку образцов древесины осуществляли при оптимальной температуре суспензии растительного масла и нанопорошка (120°C) и в течение заданного времени (30 минут). После стекания излишков отработанного растительного масла и подсушивания образцов определяли

количество введенного пропиточного состава по разности масс до и после пропитки.

Для оценки эффективности применяемых пропиточных составов на основе отходов растительного масла с добавками наноразмерного оксида кремния были определены следующие показатели: количество введенного модифицирующего состава, влагопоглощение, водопоглощение, набухание древесины в тангенциальном и радиальном направлениях. Подробные методы определения этих показателей и формулы для их расчета приведены в предыдущих работах [4-5].

Угол контакта между пропитанной древесиной и водой определяли по краевому углу смачивания с использованием программы HView 10.

Фазовый состав синтезированных образцов определяли методом рентгенофазового анализа (РФА, рентгеновский дифрактометр Empyrean B.V. с анодом Cu ($\lambda = 1.54060$ нм)). Съемку проводили в интервале углов $2\theta = 10-80^\circ$ с шагом $0,02^\circ$.

Размер и морфологию частиц синтезированного порошка SiO_2 определяли по данным просвечивающей электронной

микроскопии (ПЭМ, просвечивающий электронный микроскоп Carl Zeiss Libra - 120, Carl Zeiss NTS GmbH, Германия).

Гистограмму распределения частиц по размерам строили и обработку данных производили с использованием программы с открытым исходным кодом "ImageJ", версия 1.53k.

Для каждого из экспериментов было использовано не менее 10 образцов. Статистический анализ проводили с использованием VASSARSTAT (<http://vassarstats.net/anova1u.html>) для выполнения однофакторного дисперсионного анализа. Все данные выражены в средних значениях $\pm(\text{CO}) \text{ SE}$ (стандартное отклонение). Статистическая значимость определялась по сравнению с необработанной древесиной при $p < 0,05$.

Результаты и обсуждение

Рентгенофазовый анализ является одним из основных методов для установления фазового состава вещества с учетом его кристаллических и аморфных областей. На рис. 1 представлены результаты определения РФА оксида кремния, полученного в результате синтеза.

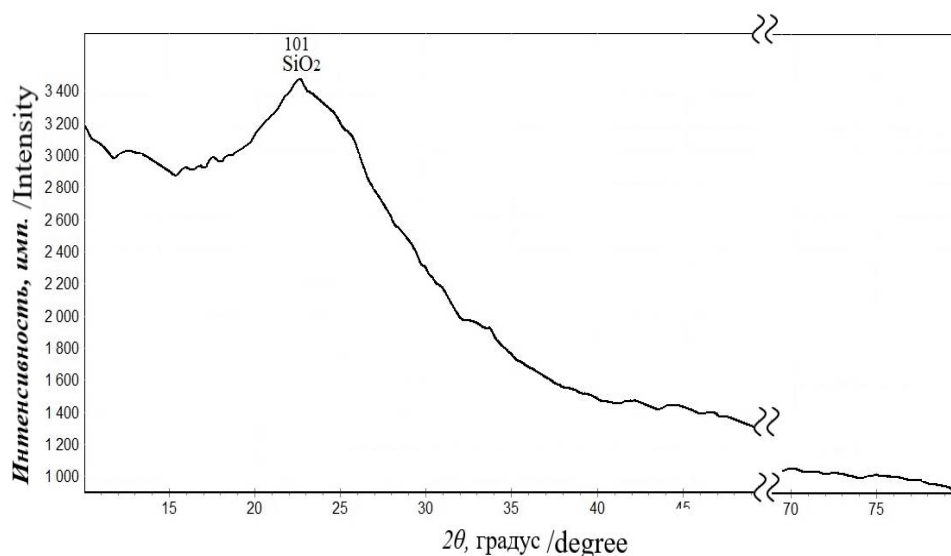


Рис. 1. Результаты исследований синтезированного оксида кремния методом РФА

Fig. 1. Results of studies of synthesized silicon oxide by the X-ray method

Источник: собственные данные авторов

Source: authors' own data

На дифрактограмме идентифицируется широкий рефлекс высокой интенсивности, отвечающий оксиду кремния (рис. 1). Значительное уширение рефлекса и наличие достаточно высокого уровня фона может быть связано с присутствием значимой доли аморфной фазы оксида кремния. Согласно данным РФА, синтезированные образцы

SiO_2 не содержат примесей (ICDD 00-046-1045). Для определения размерных характеристик и степени распределения наночастиц по размерам было проведено исследование на просвечивающем электронном микроскопе (рис. 2, а, б) и построена диаграмма распределения частиц по размерам (рис. 3).

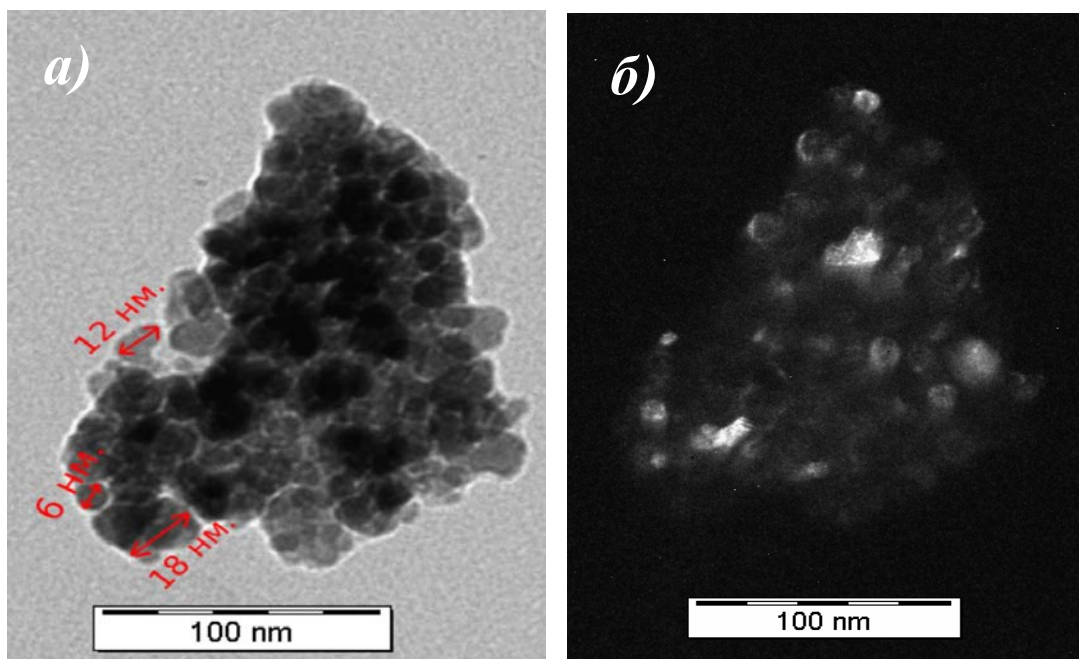


Рис. 2. ПЭМ светопольное (а) и темнопольное (б) изображения наночастиц SiO_2 в желатиновом слое
Fig. 2 – TEM light-field (a) and dark-field (b) images of SiO_2 nanoparticles in a gelatin layer

Источник: собственные данные авторов | Source: authors' own data

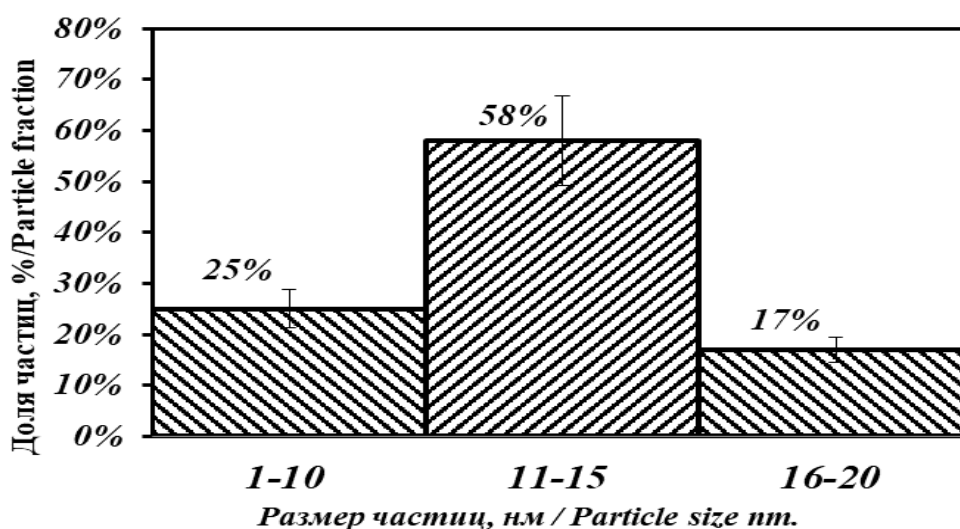


Рис. 3. Диаграмма распределения частиц SiO_2 по размерам (усами показано стандартное отклонение доли частиц представленных размеров)

Fig. 3. SiO_2 particle size distribution diagram (the moustache shows the standard deviation of the fraction of particles of the presented sizes)

Источник: собственные данные авторов | Source: authors' own data

В результате анализа светлопольного и темнопольного ПЭМ-изображений установлено, что наибольшее число частиц имеет размеры от 11 до 15 нм, а в целом диаметр наночастиц SiO₂ не превышает 20 нм при очень незначительной дисперсии. Результаты ПЭМ достаточно точно коррелируют с данными РФА (рис. 1). На ПЭМ-

изображениях видно, что синтезированные частицы SiO₂ имеют форму, близкую к сферической.

В табл. 1 представлены результаты определения содержания пропиточного состава и краевого угла смачивания воды для необработанной древесины берёзы и обработанной составами на основе отработанного растительного масла с добавками нанопорошков оксида кремния.

Таблица 1
Table 1

Содержание пропиточного состава и краевой угол смачивания для древесины берёзы

The content of the impregnation composition and the edge wetting angle for birch wood

Пропиточный состав/ Impregnation composition	Содержание пропиточного состава/ mass of absorbed composition, % ± СКО/ SE	Краевой угол смачивания / contact angle, ° ± СКО / SE
Древесина без пропитки/ Wood without impregnation	–	30±3
Отработанное масло с 0.5% аморфного оксида кремния/ Waste oil with 0.5% amorphous silicon oxide	78,8±5,8	41±4
Отработанное масло с 0.1% аморфного оксида кремния/ Waste oil with 0.1% amorphous silicon oxide	79,6±5,7	44±4
Отработанное масло с 0.01% аморфного оксида кремния/ Waste oil with 0.01% amorphous silicon oxide	84,9±6,4	43±4
Отработанное масло с 0.1% кристаллического оксида кремния/ Waste oil with 0.1% crystalline silicon oxide	72.7±5,1	41±4

Источник: собственные вычисления авторов
Source: own calculations

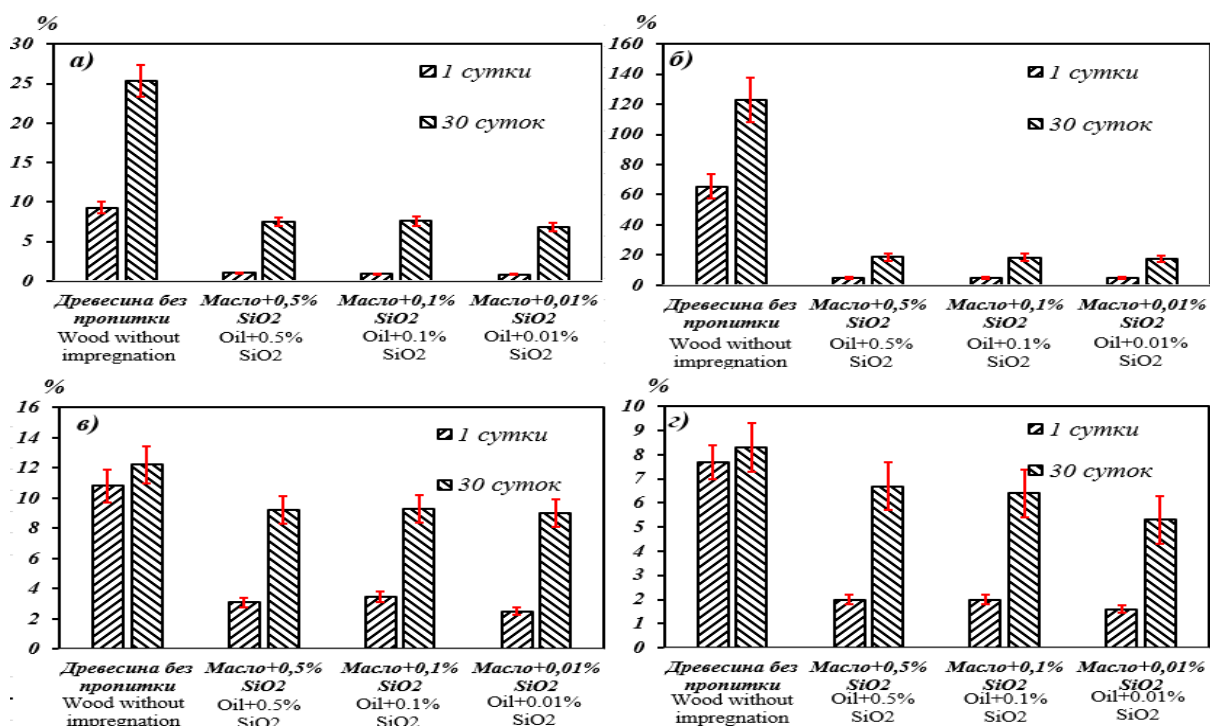


Рис. 4. Водостойкость пропитанной и не пропитанной древесины: а – влагопоглощение, б – водопоглощение, в – тангенциальное разбухание, г – радиальное разбухание
Fig. 4. Water resistance of impregnated and not impregnated wood: a – moisture absorption, b – water absorption, c – tangential swelling, d – radial swelling

Источник: собственные данные авторов | Source: authors' own data

Анализ значений краевого угла смачивания воды на поверхности обработанной и необработанной древесины березы (табл. 1) показывает, что покрытие с наноразмерными порошками оксида кремния делает древесину более гидрофобной. Так, использование наноразмерного оксида кремния в составах на основе отработанного растительного масла в оптимальной дозировке (0,1 %) повышает краевой угол смачивания модифицированной древесины более чем на 30 %. С уменьшением вводимого в состав композиций количества нанопорошка краевой угол смачивания получаемых поверхностей увеличивается, но незначительно. Введение в пропиточные составы наноразмерных порошков оксида кремния ускоряет процесс высыхания покрытия из отработанного растительного масла. Повышается прочность такого покрытия и его устойчивость к внешним воздействиям.

Водостойкость образцов представлена на рис. 4, влагопоглощение (а), водопоглощение (б), разбухание в радиальном направлении (г), в тангенциальном (в).

Использование в качестве модифицирующего агента наноразмерного оксида кремния способствует закреплению растительного масла в полостях древесного материала, о чем говорит количество введенного модифицирующего состава при оптимальном содержании нанопорошка в исследуемых композициях. Наибольшее количество введенного в древесный материал пропиточного состава наблюдалось при содержании аморфного оксида кремния в дозировке 0.01 %. В случае применения наноразмерного кристаллического оксида кремния оно несколько меньше. Показано [20], что наночастицы диоксида кремния (SiO_2) выступают в качестве армирующего агента в древесных композитах. В нашей работе это позволяет существенно снизить разбухание, влаго- и водопоглощение древесного композита березы с добавками нанопорошков оксидов кремния, особенно после 1 суток испытаний. Так, при использовании в качестве модификатора наноразмерного оксида кремния влагопоглощение пропитанной таким составом древесины после 1 суток испытаний снизилось более чем в 11 раз, а водопоглощение уменьшилось более чем в 14 раз по сравнению с необработанной древесиной.

Следует отметить, что композиты с добавками кристаллического оксида кремния имели несколько более высокое влаго- и водопоглощение, чем в случае аморфного нанопорошка, что обусловлено большей способностью связывать молекулы воды кристаллическим диоксидом кремния. После 30 суток испытаний это преимущество модифицированной наночастицами древесины по сравнению с необработанной несколько снижается, но все равно показатели влаго- и водопоглощения модифицированной древесины существенно ниже, чем у натуральной древесины (табл. 1). Обработка древесины березы составами на основе отработанного подсолнечного масла с добавками нанопорошков позволяет уменьшить разбухание древесины как в радиальном, так и в тангенциальном направлениях. Так, композиты, содержащие в своем составе наноразмерные оксиды кремния, имели разбухание в тангенциальном направлении в 3 раза меньшее, чем натуральная древесина. Разбухание в радиальном направлении у таких образцов почти в 4 раза было меньше, чем у необработанной древесины березы. Различие в значениях этого показателя при использовании нанопорошков аморфного и кристаллического оксидов кремния было незначительно.

Заключение

Таким образом, разработанные составы для обработки натуральной древесины на основе отработанного подсолнечного масла с добавками наноразмерного оксида кремния позволяют существенно улучшить гидрофобные свойства поверхности древесины, понизить ее влаго- и водостойкость, а также разбухание в радиальном и тангенциальном направлениях. Установлено, что оптимальное содержание нанопорошка оксида кремния в составах на основе отходов растительного масла, при котором достигается минимальные показатели влаго- и водопоглощения ($6,8 \pm 0,5$ и $17,6 \pm 2,4$) модифицированной древесины, составляет 0.01 %. Отмечено, что предлагаемые для пропитки древесины составы на основе отработанного фритюрного подсолнечного масла являются малоопасными отходами для человека и животных. Кроме того, их применение для защитной обработки древесины позволяет использовать отходы пищевой промышленности – отработанные растительные масла.

Проведена сравнительная оценка использования аморфного и кристаллического наноразмерных оксидов кремния в пропиточных составах на

основе отработанного растительного масла на примере древесины березы.

Список литературы

1. Пилюшина Г А, Пыриков П Г, Памфилов Е А, Данилюк А Я, Капустин В В 2020 Модифицирование древесины для создания подшипников скольжения лесопромышленных машин. Изв. вузов. Лесн. журн. 5 155. DOI: 10.37482/0536-1036-2020-5-155-165.
2. Шамаев В А 2020 Исследование модифицированной древесины методом электронной микроскопии. Изв. вузов. Лесн. журн. 1 190. DOI: 10.37482/0536-1036-2020-1-190-199.
3. Shishlov O F, Baulina N S, Glukhikh V V, El'tsov O S, Shafran Yu M, Buryndin V G, Stoyanov O V 2021 Synthesis of cardanol-containing resols for producing phenolic films: protective coatings for wood composites. Polymer Science Series D 14, pp. 328–334.
4. Dmitrenkov A I, Nikulin S S, Nikulina N S, Borovskaya A M and Nedzelsky E A 2020 Study of the process of impregnating wood birches spent vegetable oil. Forest Journal 10(2) 161. doi: 10.34220 / issn .2222-7962/2020.2/16.
5. Belchinskaya L I, Zhuzhukin K V, Dmitrenkov A I, Novikova L A and Khodosova N A 2019 Elaboration of a composition based on spent engine oil and wood flour for birch wood impregnation and railway sleepers production. IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 392 012075. doi: 10.1088/1755-1315/392/1/012075.
6. Shiro Kobayashi, Klaus Müllen 2015 Encyclopedia of Polymeric Nanomaterials Publisher Name Springer, Berlin, Heidelberg. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-3-642-29648-2>.
7. Ali Shalbafan, Jan T Benthien, Johannes Welling, Marius C Barbu 2013 Flat pressed wood plastic composites made of milled foam core particleboard residues. European Journal of Wood and Wood Products. 71 805.
8. Candelier Kevin, Atli Atilla, Alteyrac Jérôme 2019 Termite and decay resistance of bioplast-spruce green wood-plastic composites. European Journal of Wood and Wood Products 77 (1)157. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00107-018-1368-y>.
9. Prosenjit Saha, Sukanya Chowdhury, Debasis Roy, Basudam Adhikari, Jin Kuk Kim, Sabu Thomas 2016 A brief review on the chemical modifications of lignocellulosic fibers for durable engineering composites. Polymer Bulletin. 73 587.
10. Bledzki A K, Gassan J 1999 Composites Reinforced With Cellulose Based Fibres J Prog Polym Sci 24 pp 221-274. DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/S0079-6700\(98\)00018-5](http://dx.doi.org/10.1016/S0079-6700(98)00018-5).
11. Huang Y, Li G & Chu F 2019 Modification of wood cell wall with water-soluble vinyl monomer to improve dimensional stability and its mechanism. Wood Sci Technol. 53 1051. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00226-019-01112-0>.
12. Cappelletto E, Maggini S, Girardi F, Bochicchio G, Tessadri B and Di Maggio R 2013 Wood surface protection with different alkoxy silanes: a hydrophobic barrier. Cellulose 20(6) 3131. DOI: 10.1007/s10570-013-0038-9.
13. Nguyen T T, Xiao Z, Che W, Trinh H M and Xie Y 2019 Effects of modification with a combination of styrene-acrylic copolymer dispersion and sodium silicate on the mechanical properties of wood J. Wood Sci 651. DOI: 10.1186/s10086-019-1783-7.
14. Sulafa Holy, Temiz A et al 2020 Physical properties, thermal and fungal resistance of Scots pine wood treated with nano-clay and several metal-oxides nanoparticles. Wood Material Science and Engineering 16(1) 1. DOI: 10.1080/17480272.2020.1836023.
15. Baar J, Brabec M, Slávik R et al. 2021 Effect of hemp oil impregnation and thermal modification on European beech wood properties. Eur. J. Wood Prod 79 161. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00107-020-01615-9>.

16. Holy S, Temiz A, KöseDemirel G, Aslan M, Mohamad Amini M H 2020 Physical properties, thermal and fungal resistance of Scots pine wood treated with nano-clay and several metal-oxides nanoparticles. *Wood Material Science and Engineering* 16 (1) 1. DOI: <https://doi.org/10.1080/17480272.2020.1836023>.
17. Qiu Z, Xiao Z, Gao L, Li J, Wang H, Wang Y, Xie Y 2019 Transparent wood bearing a shielding effect to infrared heat and ultraviolet via incorporation of modified antimony-doped tin oxide nanoparticles. *Composites Science and Technology* 172(1) 43. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compscitech.2019.01.005>.
18. Томина Е В, Павленко А А, Дмитренков А И, Неминущая С А, 2021 Синтез и свойства композита наноразмерный ZnO/древесина. Конденсированные среды и межфазные границы. 23(4) 578. DOI: <https://doi.org/10.17308/kcmf.2021.23/3677>.
19. Tana Y, Wangb K, Dongb Y, Zhanga W, Zhanga S and Li J 2020 Bulk superhydrophobicity of wood via in-situ deposition of ZnO rods in wood structure. *Surface and Coatings Technology* 383 125240. doi: [10.1016/j.surfcoat.2019.125240](https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2019.125240).
20. Zhou H, Hao X, Wang H et al 2018 The reinforcement efficacy of nano- and microscale silica for extruded wood flour/HDPE composites: the effects of dispersion patterns and interfacial modification. *J Mater Sci* 53 1899. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10853-017-1650-0>.

References

1. Pilyushina G A, Pyrikov P G, Pamfilov E A, Danilyuk A YA, Kapustin V V 2020 Modificirovanie drevesiny dlya sozdaniya podshipnikov skol'zheniya lesopromyshlennyh mashin. *Izv. vuzov. Lesn. zhurn.* 5 155 DOI: [10.37482/0536-1036-2020-5-155-165](https://doi.org/10.37482/0536-1036-2020-5-155-165).
2. SHamaev V A 2020 Issledovanie modificirovannoj drevesiny metodom elektronnoj mikroskopii. *Izv. vuzov. Lesn. zhurn.* 1 190 DOI: [10.37482/0536-1036-2020-1-190-199](https://doi.org/10.37482/0536-1036-2020-1-190-199).
3. Shishlov O F, Baulina N S, Glukhikh V V, El'tsov O S, Shafran Yu M, Buryndin V G, Stoyanov O V 2021 Synthesis of cardanol-containing resols for producing phenolic films: protective coatings for wood composites. *Polymer Science Series D* 14, pp. 328–334.
4. Dmitrenkov A I, Nikulin S S, Nikulina N S, Borovskaya A M and Nedzelsky E A 2020 Study of the process of impregnating wood birches spent vegetable oil. *Forest Journal* 10(2) 161 doi: [10.34220 / issn .2222-7962/2020.2/16](https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2020.2/16)
5. Belchinskaya L I, Zhuzhukin K V, Dmitrenkov A I, Novikova L A and Khodosova N A 2019 Elaboration of a composition based on spent engine oil and wood flour for birch wood impregnation and railway sleepers production. *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.* 392 012075 doi: [10.1088/1755-1315/392/1/012075](https://doi.org/10.1088/1755-1315/392/1/012075)
6. Shiro Kobayashi, Klaus Müllen 2015 *Encyclopedia of Polymeric Nanomaterials* Publisher Name Springer, Berlin, Heidelberg DOI: <https://doi.org/10.1007/978-3-642-29648-2>
7. Ali Shalbafan, Jan T Benthien, Johannes Welling, Marius C Barbu 2013 Flat pressed wood plastic composites made of milled foam core particleboard residues. *European Journal of Wood and Wood Products* 71 805.
8. Candelier Kévin, Atli Atilla, Alteyrac Jérôme 2019 Termite and decay resistance of bioplast-spruce green wood-plastic composites. *European Journal of Wood and Wood Products* 77 (1) 157 DOI: <https://doi.org/10.1007/s00107-018-1368-y>
9. Prosenjit Saha, Sukanya Chowdhury, Debasis Roy, Basudam Adhikari, Jin Kuk Kim, Sabu Thomas 2016 A brief review on the chemical modifications of lignocellulosic fibers for durable engineering composites. *Polymer Bulletin* 73 587.
10. Bledzki A K, Gassan J 1999 Composites Reinforced With Cellulose Based Fibres *J Prog Polym Sci* 24 pp 221-274 DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/S0079-6700\(98\)00018-5](http://dx.doi.org/10.1016/S0079-6700(98)00018-5)

11. Huang Y, Li G & Chu F 2019 Modification of wood cell wall with water-soluble vinyl monomer to improve dimensional stability and its mechanism. *Wood Sci Technol* 53 1051 DOI: <https://doi.org/10.1007/s00226-019-01112-0>
12. Cappelletto E, Maggini S, Girardi F, Bochicchio G, Tessadri B and Di Maggio R 2013 Wood surface protection with different alkoxy silanes: a hydrophobic barrier. *Cellulose* 20(6) 3131 DOI: [10.1007/s10570-013-0038-9](https://doi.org/10.1007/s10570-013-0038-9).
13. Nguyen T T, Xiao Z, Che W, Trinh H M and Xie Y 2019 Effects of modification with a combination of styrene-acrylic copolymer dispersion and sodium silicate on the mechanical properties of wood. *J. Wood Sci* 651. DOI: [10.1186/s10086-019-1783-7](https://doi.org/10.1186/s10086-019-1783-7).
14. Sulafa Holy, Temiz A et al 2020 Physical properties, thermal and fungal resistance of Scots pine wood treated with nano-clay and several metal-oxides nanoparticles. *Wood Material Science and Engineering* 16(1) 1 DOI: [10.1080/17480272.2020.1836023](https://doi.org/10.1080/17480272.2020.1836023)
15. Baar J, Brabec M, Slávik R et al. 2021 Effect of hemp oil impregnation and thermal modification on European beech wood properties. *Eur. J. Wood Prod* 79 161 DOI: <https://doi.org/10.1007/s00107-020-01615-9>
16. Holy S, Temiz A, Köse Demirel G, Aslan M, Mohamad Amini M H 2020 Physical properties, thermal and fungal resistance of Scots pine wood treated with nano-clay and several metal-oxides nanoparticles. *Wood Material Science and Engineering* 16 (1) 1 DOI: <https://doi.org/10.1080/17480272.2020.1836023>.
17. Qiu Z, Xiao Z, Gao L, Li J, Wang H, Wang Y, Xie Y 2019 Transparent wood bearing a shielding effect to infrared heat and ultraviolet via incorporation of modified antimony-doped tin oxide nanoparticles. *Composites Science and Technology* 172(1) 43 DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compscitech.2019.01.005>.
18. Tomina E V, Pavlenko A A, Dmitrenkov A I, Neminushchaya S A, 2021 Sintez i svojstva kompozitna nanorazmernyj ZnO/drevesina. Kondensirovannye sredy i mezhfaznye granicy. 23(4) 578 DOI: <https://doi.org/10.17308/kcmf.2021.23/3677>
19. Tana Y, Wang K, Dong Y, Zhanga W, Zhanga S and Li J 2020 Bulk superhydrophobicity of wood via in-situ deposition of ZnO rods in wood structure. *Surface and Coatings Technology* 383 125240 doi: [10.1016/j.surfcoat.2019.125240](https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2019.125240)
20. Zhou H, Hao X, Wang H et al 2018 The reinforcement efficacy of nano- and microscale silica for extruded wood flour/HDPE composites: the effects of dispersion patterns and interfacial modification. *J Mater Sci* 53 1899 DOI: <https://doi.org/10.1007/s10853-017-1650-0>

Сведения об авторах

Томина Елена Викторовна – доктор химических наук, зав. кафедрой химии, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», ул. Тимирязева, 8, г. Воронеж, Российская Федерация, 394087, e-mail: tomina-e-v@yandex.ru.

Дмитренков Александр Иванович – кандидат технических наук, доцент кафедры химии, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», ул. Тимирязева, 8, г. Воронеж, Российская Федерация, 394087, e-mail: dmitrenkov2109@mail.ru.

✉ *Жужукин Константин Викторович* – преподаватель кафедры химии, м.н.с. НИИ ИТЛК Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова, ул. Тимирязева, 8, г. Воронеж, Российская Федерация, 394087; e-mail: kinkon18@yandex.ru.

Ходосова Наталья Анатольевна – кандидат химических наук, доцент кафедры химии, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», ул. Тимирязева, 8, г. Воронеж, Российская Федерация, 394087, e-mail: nhodosova@mail.ru.

Мозговой Николай Васильевич – доктор технических наук, профессор кафедры техноферной и пожарной безопасности ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», 394006, г. Воронеж, ул. 20-летия Октября, 84, e-mail: nv_moz@mail.ru.

Information about the authors

Tomina Elena Viktorovna – Doctor of Chemical Sciences, Head of the Department of Chemistry, Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Timiryazev str., 8, Voronezh, Russian Federation, 394087, e-mail: tomina-e-v@yandex.ru.

Dmitrenkov Alexander Ivanovich – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Department of Chemistry, Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Timiryazev str., 8, Voronezh, Russian Federation, 394087, e-mail: dmitrenkov2109@mail.ru.

✉ *Zhuzhukin Konstantin Viktorovich* – Lecturer, Department of Chemistry, Junior Researcher NII ITLC Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Timiryazev str., 8, Voronezh, Russian Federation, 394087; e-mail: kinkon18@yandex.ru.

Khodosova Natalya Anatolyevna – Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor, Department of Chemistry, Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, Timiryazev str., 8, Voronezh, Russian Federation, 394087, e-mail: nhodosova@mail.ru.

Mozgovoy Nikolay Vasilyevich – Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Technosphere and Fire Safety, Voronezh State Technical University, Voronezh, 394006, ul. 20-letiya Oktyabrya, 84, e-mail: nv_moz@mail.ru.