

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ИМПУЛЬСНОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ И АДсорБИРОВАННОЙ ВОДЫ НА СВОЙСТВА ДРЕВЕСИНЫ МЕТОДОМ ИНФРАКРАСНОЙ СПЕКТРОСКОПИИ

кандидат физико-математических наук, доцент **В.В. Саушкин**¹
доктор физико-математических наук, профессор **Н.Н. Матвеев**¹
доктор физико-математических наук, профессор **В.В. Постников**¹
кандидат физико-математических наук, доцент **Н.С. Камалова**¹
кандидат физико-математических наук, профессор **В.И. Лисицын**¹
кандидат физико-математических наук, доцент **Н.Ю. Евсикова**¹
студент **К.В. Жужукин**¹
доктор философии, преподаватель **Нгуен Хоай Тхьонг**²

1 – ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова»,
г. Воронеж, Российская Федерация

2 – Индустриальный университет Хошимина, Вьетнам

Целью работы является уточнение механизма воздействия импульсного магнитного поля (ИМП) и адсорбированной воды на свойства древесины. Необходимость изучения данных воздействий обусловлена их значительным влиянием на физико-механические характеристики древесины. Объектами исследования являлись микротомные срезы древесины сосны и березы, метод исследования – инфракрасная Фурье-спектроскопия. Обнаружено незначительное изменение ИК-спектра древесины березы, обработанной ИМП, во всем исследованном диапазоне частот, кроме полосы 2360-2330 см⁻¹, где происходит резкое увеличение пропускания, что, предположительно, связано с освободившимся посредством ИМП диоксидом углерода. Рассмотрено влияние термической обработки: кратковременное (10 с) нагревание образца древесины березы до температуры 420 К привело к инверсии её ИК-спектра в диапазоне 2360-2330 см⁻¹ по сравнению с исходным образцом. После выдерживания воздушно-сухого образца древесины сосны в течение 40 суток в насыщенных парах воды привело к увеличению интенсивности поглощения и существенному уширению полосы поглощения в области 3000-3800 см⁻¹. Кроме того, существенно увеличилось поглощение при 2120 см⁻¹ и 1540 см⁻¹, а двойной максимум при частоте 2360-2330 см⁻¹ исчез. В области частот около 4500 см⁻¹ возник широкий, но не очень интенсивный максимум пропускания. По мере высушивания образца при комнатных условиях обнаружено не закономерное изменение спектра в области частоты 2360-2330 см⁻¹. Поведение этих максимумов имеет целый ряд особенностей и при других манипуляциях с древесиной, наблюдавшихся в наших экспериментах.

Ключевые слова: древесина, импульсное магнитное поле, адсорбированная вода, инфракрасный спектр, диоксид углерода.

INVESTIGATION OF THE INFLUENCE OF PULSE MAGNETIC FIELD AND ADSORBED WATER ON THE PROPERTIES OF WOOD BY THE METHOD OF INFRARED SPECTROSCOPY

PhD (Physics and Mathematics), Associate Professor **V.V. Saushkin**¹

DSc (Physics and Mathematics), Professor **N.N. Matveev**¹

DSc (Physics and Mathematics), Professor **V.V. Postnikov**¹

PhD (Physics and Mathematics), Associate Professor **N.S. Kamalova**¹

PhD (Physics and Mathematics), Professor **V.I. Lisitsyn**¹

PhD (Physics and Mathematics), Associate Professor **N.Yu. Evsikova**¹

Student **K.V. Zhuzhukin**¹

Doctor of Philosophy, lecturer **Nguyen Hoai Thong**²

1 – FSBEI HE «Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov», Voronezh, Russian Federation

2 – Industrial university of Ho Chi Minh city, Vietnam

Abstract

The purpose of this work is to clarify the mechanism of the action of a pulsed magnetic field (PMF) and adsorbed water on the properties of wood. The need to study these impacts is due to their significant influence on physical and mechanical characteristics of wood. The objects of the study have been microtomic sections of pine and birch wood, the method of investigation has been infrared Fourier spectroscopy. An insignificant change in the IR spectrum of birch wood treated with UTI has been observed in the whole investigated frequency range, except for the band 2 360-2 330 cm^{-1} , where there is a sharp increase in transmission, which is presumably due to the released carbon dioxide. The influence of heat treatment is considered: a short (10 seconds) heating of a sample of birch wood to a temperature of 420 K has led to an inversion of its IR spectrum in the 2 360-2 330 cm^{-1} range compared to the original sample. After processing the air-dry sample of pine wood for 40 days in saturated water vapor, absorption intensity has increased and absorption band has broadened substantially in the area of 3000-3800 cm^{-1} . In addition, absorption has increased significantly at 2120 cm^{-1} and 1540 cm^{-1} , and double maximum at a frequency of 2360-2330 cm^{-1} has disappeared. Wide but not very intense transmission maximum has been observed in the frequency range of about 4500 cm^{-1} . As the sample has been dried under room conditions, it was found that there was no regular change in the spectrum in the frequency range of 2360-2330 cm^{-1} . The behavior of these maxima has a number of features during other manipulations with wood, observed in our experiments.

Keywords: wood, pulsed magnetic field, adsorbed water, infrared spectrum, carbon dioxide.

Древесина является одним из самых востребованных материалов, используемых в различных сферах деятельности человека. Это обусловлено её экологичностью, длительным периодом эксплуатации, возобновляемостью как природного ресурса, достаточно высокими физико-механическими характеристиками и др. Срок службы древесины, отчасти, зависит от её прочностных характеристик, а именно, прочность при статическом изгибе, прочность при скалывании вдоль волокон, ударная вязкость, статическая твердость и др. Для увеличения этих показателей осуществляют модифицирование

древесины. С целью повышения твердости используют модифицирование прессованием, это приводит к значительному повышению её прочностных характеристик за счет увеличения плотности древесного материала [1,2].

Существует и другой метод воздействия, приводящий к увеличению твердости древесины – обработка импульсным магнитным полем [3-5]. Исследования, проведенные ранее, позволили связать этот эффект предположительно с образованием новых ковалентных связей типа C-O-C между боковыми группами макромолекул целлюлозы [6].

Продолжение исследований влияния ИМП и других внешних факторов на свойства древесины является, на наш взгляд, актуальным направлением, как с практической, так и с научной точек зрения [7].

В качестве метода исследования выбрана инфракрасная Фурье-спектроскопия, которая позволяет оперативно изучать большинство колебательных и вращательных спектров молекул. При прохождении инфракрасного излучения через вещество поглощаются только те кванты, частоты которых соответствуют частотам валентных, деформационных и либрационных колебаний молекул или частотам колебаний кристаллической решетки.

Изменения параметров ИК спектров (смещение полос поглощения, изменение их ширины, формы, величины поглощения), происходящие под воздействием внешних факторов, позволяет судить о величине и характере межмолекулярного взаимодействия. При поглощении инфракрасного излучения возбуждаются только те колебания, которые связаны с изменением дипольного момента молекулы. Все колебания, в процессе которых дипольный момент не изменяется, в ИК-спектрах не проявляются [8]. Интенсивность полос в ИК-спектре пропорциональна квадрату изменения дипольного момента [9]. Представленные ниже результаты получены в лаборатории кафедры общей и прикладной физики ВГЛТУ с использованием инфракрасного Фурье-спектрометра ФСМ 2201 производства ООО «Инфраспек» (Россия, Санкт-Петербург). В данном приборе используется излучение гелий-неонового лазера ($\lambda = 0,6328$ мкм), спектр ИК-излучения формируется с помощью интерферометра Майкельсона, детектором является неселективный пироэлектрический датчик. Полученная интерферограмма после математического фурье-преобразования программой FSpec превращается в зависимость интенсивности пропускания (или поглощения) от волнового числа.

Интервал исследованных частот – от 400 до 7800 см^{-1} .

Среда – атмосфера при комнатных условиях.

Образец сравнения – воздух в измерительной камере непосредственно перед определением каждого спектра.

Образцы – микротомные поперечные срезы древесины сосны и березы толщиной 140-150 мкм, полученные в ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский институт лесной генетики, селекции и биотехнологии».

Исходное состояние образцов – воздушно-сухая древесина, находившаяся в комнатных условиях и ранее не подвергавшаяся никаким воздействиям.

Сравнение спектров одного и того же воздушно-сухого образца древесины сосны, определенные с интервалом 18 месяцев, продемонстрировало воспроизводимость результатов данного метода и стабильность свойств древесины, находящейся в стационарных условиях.

Влияние импульсного магнитного поля на ИК спектры древесины

Обработка образцов импульсным магнитным полем проводилась при комнатной температуре сериями симметричных однополярных импульсов практически треугольной формы длительностью 10 мкс и частотой следования 50 Гц. Амплитуда импульсов составляла 0,25 Тл, длительность обработки – 60 с. ИМП создавалось периодическим разрядом батареи конденсаторов через низкоиндуктивный соленоид и контролировалось по току заряда в цепи соленоида и по напряжению индукции на тестовой катушке индуктивности. Во время ИМП-экспозиции образцы ориентировались в соленоиде таким образом, чтобы волокна древесины располагались параллельно силовым линиям поля. Именно такая ориентация, как показали эксперименты, давала наиболее заметный эффект упрочнения ИМП-обработанных образцов [4,10].

На спектре сухой натуральной древесины (рис. 1, спектр 1) диапазоне 1000-5000 см^{-1} отчетливо видны полосы поглощения валентных колебаний гидроксильных групп ОН, участвующих в водородной связи (3300-3400 см^{-1}). В диапазоне 2750-3000 см^{-1} проявляются полосы поглощения валентных колебаний СН- и СН₂- групп. В интервале частот 1500-1800 см^{-1} происходит поглощение, за которое ответственны С=О и С=C функциональные

группы. Часть спектра ниже 1500 см^{-1} , называемая областью «отпечатков пальцев», чувствительна к самым незначительным изменениям структуры древесины. В диапазоне частот от $1200\text{-}1500\text{ см}^{-1}$ обнаруживаются деформационные колебания OH- , CH- , CH_2 – групп.

Спектры 2-4 на рис. 1 определены для образцов древесины через различные промежутки времени после воздействия ИМП (3 минуты, 2,5 часа, сутки, неделя). Обработка ИМ полем привела к незначительным изменениям спектра по всему диапазону, кроме интервала $2250\text{-}2400\text{ см}^{-1}$. На этом участке наблюдается заметное изменение спектра и образование экстремума поглощения. На рис. 2 представлено увеличенное изображение этой области спектра.

Двойной максимум в интервале $2360\text{-}2330\text{ см}^{-1}$ относят обычно к области колебаний диоксида углерода CO_2 [14]. Через 2,5 часа после облучения ИМП происходит увеличение этой полосы пропускания. Через сутки после облучения два максимума

в интервале $2360\text{-}2330\text{ см}^{-1}$ продолжают увеличиваться. Через неделю после облучения ИМП рост этой полосы пропускания прекращается. Ранее установлено, что наличие градиента температуры внутри образца приводит к появлению разности потенциалов в древесине [7]. В наших экспериментах кратковременное нагревание образца в течение 10 с до температуры 420 К привело к инверсии спектра в рассматриваемой области частот: максимумы пропускания превратились в максимумы поглощения (рис. 3).

Максимумы в ИК-спектре древесины на частотах $2360\text{-}2330\text{ см}^{-1}$ часто связывают с влиянием окружающей среды [11]. По нашему мнению появление этого пика, возможно, характеризует наличие CO_2 на свободных радикалах структурных компонентах древесины, освободившихся посредством воздействия ИМП. Также возможно физическое присутствие этого газа в древесине, который находится в межклеточном пространстве или в макропорах древесины.

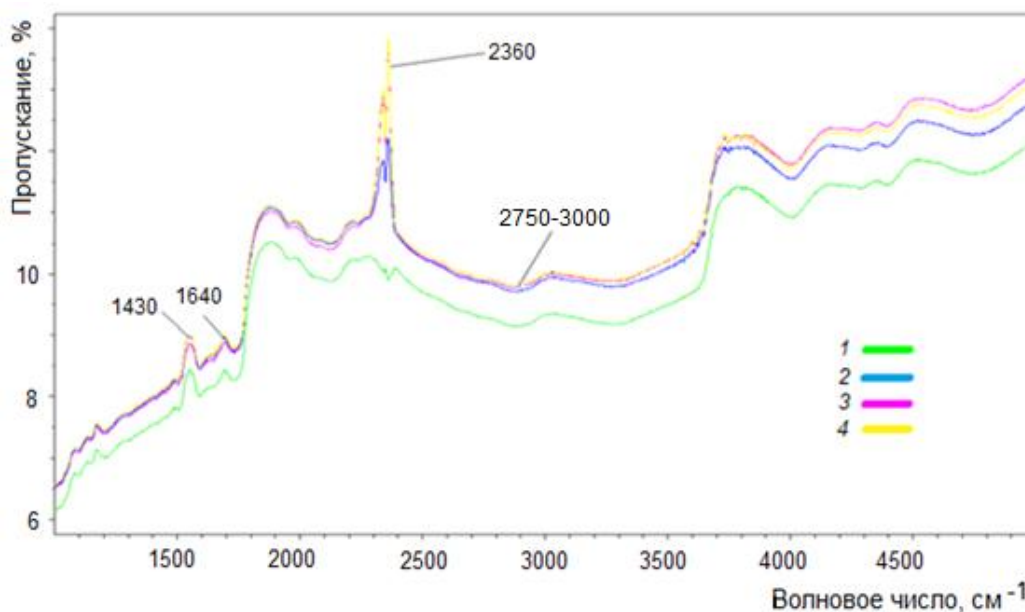


Рис. 1. Изменения ИК-спектра древесины березы после облучения ИМП с течением времени. 1 – исходный образец; 2 – через 2,5 часа; 3 – через сутки; 4 – через неделю после облучения.

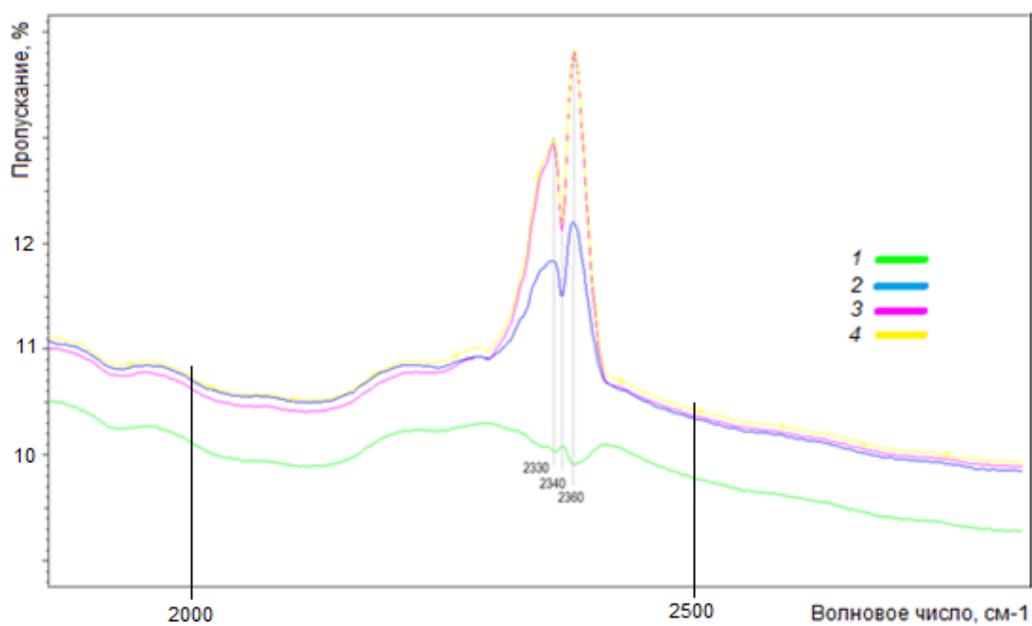


Рис. 2. Изменения ИК-спектра в области колебаний диоксида углерода CO_2 с течением времени. (Обозначения как на рис. 1)

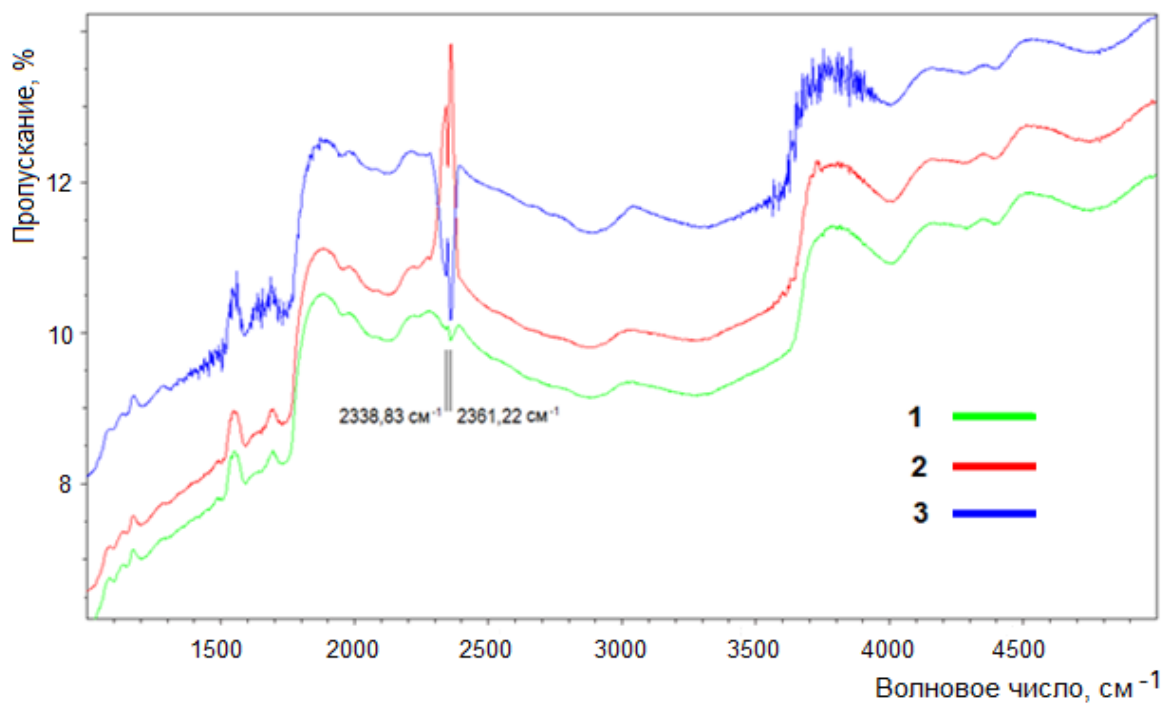


Рис. 3. ИК-спектры древесины березы после облучения ИМП и нагрева до 420 К. 1 – исходный образец; 2 – через неделю после облучения; 3 – после нагрева до 420 К.

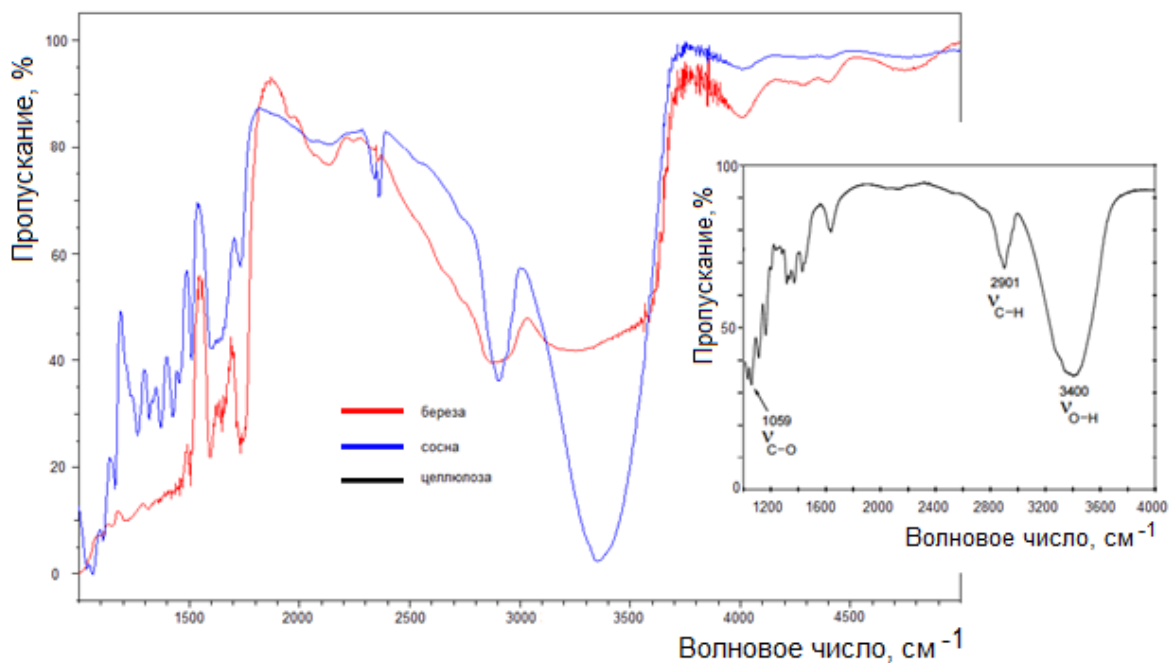


Рис. 4. ИК-спектры воздушно-сухих образцов древесины сосны и березы (данные авторов) и целлюлозы [13].

Влияние адсорбированной воды

Исследование влияния воды на свойства древесины началось с определения ИК спектров воздушно-сухих образцов древесины сосны и березы (рис. 4). В спектре древесины сосны наиболее отчетливо выражен спектр целлюлозы. Для этого образца, кроме того, наблюдается достаточно интенсивное поглощение в области около 2360 см^{-1} . Такое же поглощение есть и в спектре березы, но менее интенсивное. Поглощение излучения в этой области частот в целлюлозе и лигнине практически отсутствует [13,14-16].

ИК спектр древесины сосны оказался наиболее «рельефным», поэтому для дальнейших экспериментов выбран воздушно-сухой образец древесины сосны.

Исходный образец в течение 40 суток выдержан в бюксе в насыщенных парах дистиллированной воды. В результате древесина достигла предела гигроскопичности. В этом случае вода в древесине находится в адсорбированном состоянии, причем наблюдаются все механизмы адсорбции: в микропорах, на гидроксилах и капиллярная конденсация [12].

Сравнение спектров воздушно-сухого образца и образца после достижения предела гигроско-

пичности показано на рис. 5 (спектры 1 и 2). Влияние адсорбированной воды проявилось в следующем.

- Максимум поглощения в области валентных колебаний ОН-групп при частоте 3350 см^{-1} превратился в широкую полосу поглощения $3000\text{--}3600\text{ см}^{-1}$.
- Положение максимума колебаний СН-групп при частоте 2900 см^{-1} не изменилось, но этот максимум стал наблюдаться на фоне низкочастотного склона полосы поглощения гидроксидов.
- Двойной максимум при частоте $2360\text{--}2330\text{ см}^{-1}$ исчез.
- Существенно увеличилось поглощение при 2120 см^{-1} и 1540 см^{-1} .
- Поглощение в области «отпечатков пальцев» ($500\text{--}1500\text{ см}^{-1}$) практически не изменилось. (Однако эта область частот требует более детального изучения.)

В области частот около 4500 см^{-1} возник широкий, но не очень интенсивный максимум пропускания.

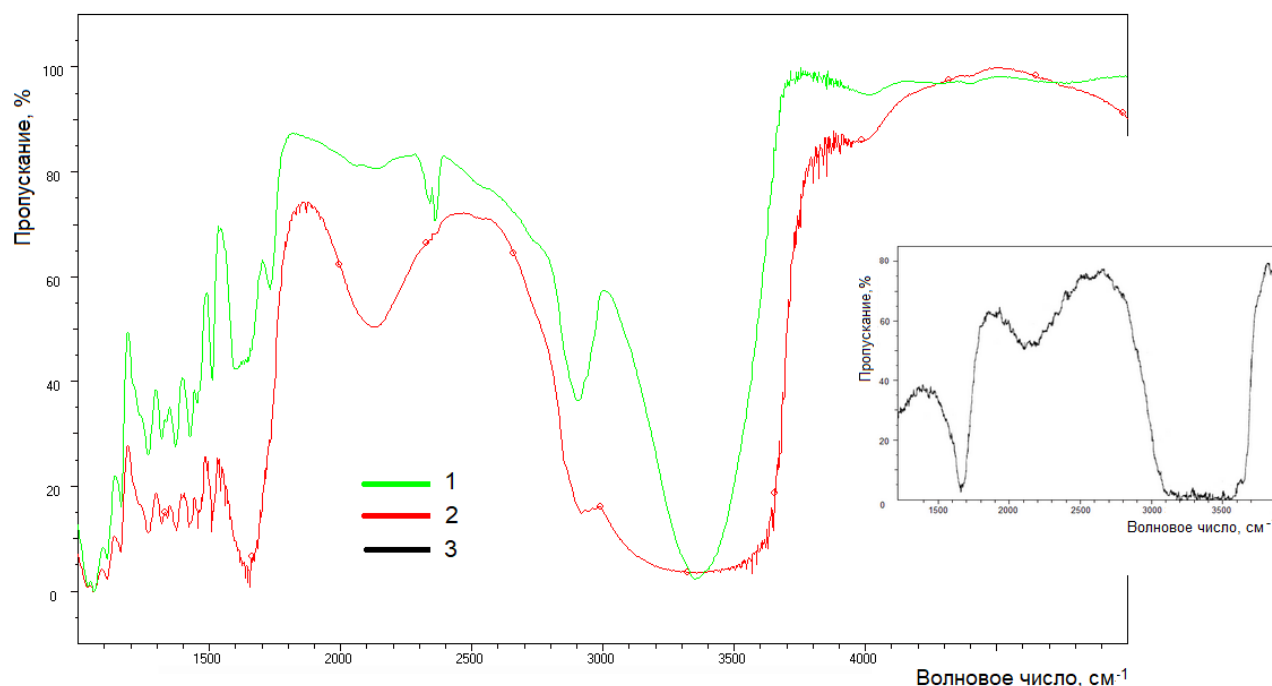


Рис. 5. ИК-спектр древесины сосны.

1 – исходный образец; 2 – после выдержки в насыщенных парах воды (данные авторов); 3 – дистиллированная вода [17].

Появление широкой полосы поглощения в области $3000\text{--}3600\text{ см}^{-1}$ указывает на наличие во влажной древесине капиллярно-конденсированной воды, спектрально очень похожей на дистиллированную воду. На это же указывает существенное увеличение поглощения в полосе $2130\text{--}2150\text{ см}^{-1}$, что соответствует деформационным + либрационным колебаниям молекул воды [17,18].

По мере последовавшего в дальнейшем высушивания образца при комнатной температуре и комнатной влажности (без каких-либо дополнительных воздействий) наблюдалась постепенная, но достаточно быстрая трансформация спектра к виду, характерному для сухого образца. Относительно высокая скорость десорбции воды объясняется небольшой толщиной среза. Однако динамика высушивания имела некоторые особенности. Сначала в течение первых 12 минут пребывания комнатных условиях интенсивность двойного максимума поглощения в области 2630 см^{-1} увеличилась приблизительно втрое, и продолжала расти до 25 минут, а затем, приблизительно через час, вернулась к величине, характерной для воздушно-сухого образца. Поведение этого максимума имеет целый ряд осо-

бенностей и при других манипуляциях с древесиной, наблюдавшихся в наших экспериментах. Интерпретация данного максимума и его природа пока до конца не ясна и требует дальнейших исследований.

Выводы

Проведены экспериментальные исследования микротомных срезов древесины сосны и берёзы. Установлено, что обработка древесины берёзы импульсным магнитным полем изменяет ИК-спектр образца в интервале частот $2360\text{--}2330\text{ см}^{-1}$. Показана динамика изменения с течением времени этого двойного максимума поглощения. Найдено время, через которое поглощение в данной области частот перестает изменяться.

Показано влияние термической обработки древесины берёзы на ее ИК-спектр: в интервале колебаний диоксида углерода CO_2 максимумы поглощения заменились на максимумы пропускания.

Описано влияние адсорбированной воды на ИК-спектры древесины сосны. Показаны изменения спектра по мере высыхания древесины.

На основании большого количества экспериментальных фактов можно сделать предвари-

тельные выводы о том, что структурные единицы древесины (как дипольные, так и электронные) видоизменяют характер своего движения с течением времени, без воздействия каких-либо факторов.

Установление механизмов взаимодействия древесины с импульсным магнитным полем и с водой позволяют управлять этими процессами, что приведет к возможности изменения реологических и диэлектрических свойств.

Библиографический список

1. Хухрянский, П. Н. Прессование древесины [Текст] / П. Н. Хухрянский. – 2-е изд., испр. и доп. – М. : Лесн. пром-сть, 1964. – 361 с.
2. Винник И.И Модифицированная древесина. М.: Лесная промышленность, 1984. 160 с.
3. Кленкова Н.И. Структура и реакционная способность целлюлозы. М.: Наука, 1976. 376 с.
4. Постников В.В., Левин М.Н., Матвеев Н.Н., Скориданов Р.В., Камалова Н.С., Шамаев В.А. Воздействие слабых импульсных магнитных полей на модифицированную древесину. // Письма в ЖТФ. – 2005. – Т.31. – Вып.9. – С.14-19.
5. Персидская А.Ю., Кузеев И.Р., Антипина В.А. О влиянии импульсного магнитного поля на механические свойства полимерных волокон // Ж. хим. Физики. – 2002. – № 2. – С. 90.
6. Камалова Н.С., Постников В.В., Матвеев Н.Н. Модель упрочнения модифицированной древесины/ INTERMATIC – 2006 материалы Международной научно-технической конференции «Фундаментальные проблемы радиоэлектронного приборостроения». Москва, 2006. С. 82-86.
7. Матвеев Н.Н., Камалова Н.С., Евсикова Н.Ю., Саушкин В.В. Процесс возникновения разности потенциалов в тонком слое древесины при устойчивом перепаде температуры вдоль толщины. Лесотехнический журнал.-2017.- Т. 7.- № 2 (26).- С. 19-26.
8. Колесников И.В., Саполетова Н.А. Инфракрасная спектроскопия.- М.: МГУ. 2011.- 92 с. С. 8.
9. Юхневич Г.В. Инфракрасная спектроскопия воды. М.: Наука. – 1973. – С. 140 – 145.
10. Постников В.В., Камалова Н.С., Кальченко С.В. О возможном влиянии импульсного магнитного поля на образование ковалентных связей между макромолекулами целлюлозы в модифицированной древесине. // Физика и химия обработки материалов. – 2009. – № 6. – С. 91-93.
11. Самуилов А. Я., Нестеров С. В., Самуилов Я. Д. Эмиссия углекислого газа при термостарении полиуретанов в присутствии фенольных соединений // Вестник Казанского технологического университета.- 2014. Т. 17.- № 13.- С. 192-194.
12. Чудинов Б.С. Вода в древесине.- Наука: Новосибирск, 1984.- 268 с.
13. Васильева А.В., Гриненко Е.В., Шукин А.О., Федулina Т.Г. Инфракрасная спектроскопия органических и природных соединений. СПб: СПбГЛТА, 2007.- 54 с.
14. Nguyen H.T., Sidorkin A.S., Milovidova S.D., Rogazinskaya O.V. Influence of humidity on dielectric properties of nanocrystalline cellulose-triglycine sulfate composites. *Ferroelectrics*, 2016, v. 501, p. 180-186.
15. Nguyen H.T., Sidorkin A.S., Milovidova S.D., Rogazinskaya O.V. Investigation of dielectric relaxation in ferroelectric composite nanocrystalline cellulose-triglycine sulfate. *Ferroelectrics*, 2016, v. 498, p. 27-35.
16. Milovidova S.D., Rogazinskaya O.V., Sidorkin A.S., Nguyen H.T., Grohotova E.V., Popravko N.G. Dielectric properties of composites based on nanocrystalline cellulose end triglycine sulfate. *Ferroelectrics*, 2014, v. 469, p. 116-119.
17. Бессонова А.П., Стась И.Е. Влияние высокочастотного электромагнитного поля на физико-химические свойства воды и ее спектральные характеристики // Ползуновский вестн. 2008. № 3. С. 305–309.

18. Орловский В.М., Панарин В.А. Динамика изменения ИК-спектра дистиллированной и тяжелой воды при облучении электронным потоком наносекундной длительности. Письма в ЖТФ.- 2017.- Т. 43.- Вып. 23.- С. 11-16.

References

1. Khukhryansky P.N. *Pressovaniye drevesiny*. [Pressing of wood] / P.N. Khukhryansky .- 2 nd ed., Corr. And add. - M.: Lesn. Prom-tion, 1964. - 361 p. (in Russian).
2. Vinnik I.I. *Modifitsirovannaya drevesina*. [Modified wood]. Moscow: Forest Industry, 1984. 160 p. (in Russian).
3. Klenkova N.I. *Struktura i reaktivnaya sposobnost tsellyulozy*. [Structure and reactivity of cellulose] M.: Nauka, 1976. 376 p. (in Russian).
4. Postnikov V.V., Levin M.N., Matveev N.N., Skoridanov R.V., Kamalova N.S., Shamayev V.A. *Vozdeystviye slabykh impulsnykh magnitnykh poley na modifitsirovannuyu drevesinu*. [Impact of weak pulsed magnetic fields on modified wood] // Letters in ZhTF. - 2005. - T.31. - Vol. 9. - P.14- 19. (in Russian).
5. Persidskaya A.Yu., Kuzeev I.R., Antipina V.A. *O vliyaniy impulsnogo magnitnogo polya na mekhanicheskiye svoystva polimernykh volokon* [On the influence of a pulsed magnetic field on the mechanical properties of polymer fibers] // Zh. Chem. Physicists. - 2002. - № 2. - P. 90. (in Russian).
6. Kamalova N.S., Postnikov V.V., Matveev N.N. *Model uprochneniya modifitsirovannoy drevesiny* [Modification model of modified wood] / INTERMATIC - 2006 materials of the International Scientific and Technical Conference "Fundamental Problems of Radio Electronic Instrument-Making". Moscow, 2006. pp. 82-86. (in Russian).
7. Matveev N.N., Kamalova N.S., Evsikova N.Yu., Saushkin V.V. *Protsess vozniknoveniya raznosti potentsialov v tonkom sloye drevesiny pri ustoychivom perepade temperatury vdol tolshchiny* [The process of the appearance of a potential difference in a thin layer of wood with a stable temperature drop along the thickness]. Forestry Journal.- 2017.- Т. 7.- No. 2 (26) .- P. 19-26. (in Russian).
8. Kolesnikov I.V., Sapoletova N.A. *Infrakrasnaya spektroskopiya* [Infrared spectroscopy]. - Moscow: Moscow State University. 2011.- 92 pp. С. 8. (in Russian).
9. Yukhnovich G.V. *Infrakrasnaya spektroskopiya vody* [Infrared spectroscopy of water.] M.: Science. - 1973. - P. 140 - 145. (in Russian).
10. Postnikov V.V., Kamalova N.S., Kalchenko S.V. *O vozmozhnom vliyaniy impulsnogo magnitnogo polya na obrazovaniye kovalentnykh svyazey mezhdumakromolekulami tsellyulozy v modifitsirovannoy drevesine* [On the possible effect of a pulsed magnetic field on the formation of covalent bonds between macromolecules of cellulose in modified wood] // Physics and chemistry of material processing. - 2009. - No. 6. - P. 91-93. (in Russian).
11. Samuilov A.Ya., Nesterov S.V., Samuilov Ya.D. *Emissiya uglekislogo gaza pri termostarenii poliuretanov v prisutstviy fenolnykh soyedineniy* [Emission of carbon dioxide during the thermo-aging of polyurethanes in the presence of phenolic compounds] // Bulletin of Kazan Technological University .- 2014. V. 17.- № 13.- Pp. 192-194.(in Russian).
12. Chudinov B.S. *Voda v drevesine* [Water in wood]. - Science: Novosibirsk, 1984.- 268 p. (in Russian).
13. Vasilieva A.V., Grinenko E.V., Shchukin A.O., Fedulina T.G. *Infrakrasnaya spektroskopiya organicheskikh i prirodnykh soyedineniy* [Infrared spectroscopy of organic and natural compounds.] SPb: SPbGLTA, 2007.- 54 p. (in Russian).
14. Nguyen H.T., Sidorkin A.S., Milovidova S.D., Rogazinskaya O.V. Influence of humidity on dielectric properties of nanocrystalline cellulose-triglycine sulfate composites. *Ferroelectrics*, 2016, v. 501, p. 180-186.
15. Nguyen H.T., Sidorkin A.S., Milovidova S.D., Rogazinskaya O.V. Investigation of dielectric relaxation in ferroelectric composite nanocrystalline cellulose-triglycine sulfate. *Ferroelectrics*, 2016, v. 498, p. 27-35.

16. Milovidova S.D., Rogazinskaya O.V., Sidorkin A.S., Nguyen H.T., Grohotova E.V., Popravko N.G. Dielectric properties of composites based on nanocrystalline cellulose end triglycine sulfate. *Ferroelectrics*, 2014, v. 469, p. 116-119.
17. Bessonova A.P., Stas I.E. *Vliyanie vysokochastotnogo elektromagnitnogo polya na fiziko-khimicheskie svoystva vody i ee spektral'nye kharakteristiki*. [Influence of a high-frequency electromagnetic field on the physico-chemical properties of water and its spectral characteristics] // *Polzunovskii vestn.* 2008. № 3. P. 305-309. (in Russian).
18. Orlovsky V.M., Panarin V.A. *Dinamika izmeneniya IK-spektra distillirovannoy i tyazheloy vody pri obluchenii elektronnyim potokom nanosekundnoy dlitelnosti* [Dynamics of the IR spectrum of distilled and heavy water during irradiation with an electron flow of nanosecond duration.] *Letters in the ZhTF* .- 2017.- Vol. 43.- Vol. 23.- pp. 11-16. (in Russian).

Сведения об авторах

Саушкин Виктор Васильевич – доцент кафедры общей и прикладной физики ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», кандидат физико-математических наук, доцент, г. Воронеж, Российская Федерация; e-mail: vvs5@yandex.ru

Матвеев Николай Николаевич – заведующий кафедрой общей и прикладной физики ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», доктор физико-математических наук, профессор, г. Воронеж, Российская Федерация; e-mail: nmtv@vglta.vrn.ru

Постников Валерий Валентинович – профессор кафедры общей и прикладной физики ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», доктор физико-математических наук, профессор, г. Воронеж, Российская Федерация; e-mail: vvpost45@mail.ru

Камалова Нина Сергеевна – доцент кафедры общей и прикладной физики ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», кандидат физико-математических наук, доцент, г. Воронеж, Российская Федерация; e-mail: gc@icmail.ru

Лисицын Виктор Иванович – профессор кафедры общей и прикладной физики ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», кандидат физико-математических наук, профессор, г. Воронеж, Российская Федерация; e-mail: victor-lisicyn@yandex.ru

Евсикова Наталья Юрьевна – доцент кафедры общей и прикладной физики ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», кандидат физико-математических наук, г. Воронеж, Российская Федерация; e-mail: natalyaevsikova@mail.ru

Жужукин Константин Викторович – студент лесопромышленного факультета ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», г. Воронеж, Российская Федерация; e-mail: kinkon18@yandex.ru

Нгуен Хоай Тхыонг – доктор философии, преподаватель, научный сотрудник факультета электротехники, Индустриальный университет Хошимина, Вьетнам; e-mail: nguyenthuongfee@iuh.edu.vn

Information about Authors

Saushkin Viktor Vasilevich – Associate Professor of the Department of General and Applied Physics, Federal State Budget Educational Institution of Higher Education «Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov», Ph.D. in Physics and Mathematics, Associate Professor, Voronezh, Russian Federation; e-mail: vvs5@yandex.ru.

Matveev Nikolay Nikolaevich – Head of the department of General and Applied Physics, Federal State Budget Educational Institution of Higher Education «Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F.

Morozov», Doctor of Physical and Mathematical Sci-ences, Professor, Voronezh, Russian Federation; e-mail: nmtv@vglta.vrn.ru.

Postnikov Valery Valentinovich - Professor of the Department of General and Applied Physics, FGBOU VO "Voronezh State Forestry University named after G.F. Morozova, Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor, Voronezh, Russian Federation; e-mail: vvpost45@mail.ru

Kamalova Nina Sergeevna – Associate Professor of the Department of General and Applied Physics, Federal State Budget Educational Institution of Higher Education «Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov», Ph.D. in Physics and Mathematics, Associate Professor, Voronezh, Russian Federation; e-mail: rc@icmail.ru.

Lisitsyn Viktor Ivanovich - Professor of the Department of General and Applied Physics, FGBOU VO "Voronezh State Forestry University named after G.F. Morozova ", candidate of physical and mathematical sciences, professor, Voronezh, Russian Federation; e-mail: victor-lisicyn@yandex.ru

Evsikova Natalya Yurievna – Associate Professor of the Department of General and Applied Physics, Federal State Budget Educational Institution of Higher Education «Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov», Ph.D. in Physics and Mathematics, Voronezh, Russian Federation; e-mail: natalyaevsikova@mail.ru.

Zhuzhukin Konstantin Viktorovich - student of the forestry faculty of the FGBU VO "Voronezh State Forestry University named after G.F. Morozova, Voronezh, Russian Federation; e-mail: kinkon18@yandex.ru

Nguyen Hoai Thuong, PhD., Lecturer, Researcher at the Faculty of Electrical Engineering Technology, Industrial University of Ho Chi Minh City, Vietnam; e-mail: nguyenthuongfee@iuh.edu.vn