

**В.И. Иванов-Омский, Т.К. Звонарева, А.Г. Кадомцев,
Е.И. Иванова, Л.Л. Леонтьев, И.Д. Лобок**

ОЦЕНКА ПРОЧНОСТИ БЕРЕСТЫ ПУТЕМ КОЛИЧЕСТВЕННОГО ИССЛЕДОВАНИЯ ВОДОРОДНЫХ СВЯЗЕЙ МЕТОДОМ ИК-СПЕКТРОСКОПИИ

Введение. Среди возможных типов химических связей, формирующих структуру древесины, особая роль принадлежит водородным связям (Н-связям), которые возникают посредством обмена протонами между соседними гидроксильными группами, которыми так богата целлюлозная компонента любой древесины. Присутствие Н-связи является признаком того, что данный образец древесины принадлежит живому дереву [Иванов-Омский, 2014; Иванова и др., 2016; Фенгель, 1992]. ИК ФТИР спектроскопия позволяет определить [Иванова и др., 2015] ряд таких важных ее параметров, как длина водородной связи, плотность Н-связи и энергия Н-связи, с которыми естественным образом связаны и механические свойства древесины. С целью установления корреляции между этими, по сути молекулярными параметрами и макроскопическими прочностными характеристиками проведем в качестве примера сравнение результатов прочностных исследований и ФТИР спектроскопии. Руководствуясь этими соображениями, было выполнено сравнение систем водородных связей (Н-связей) в слоях бересты, приближенных к поверхности коры молодой берёзы в целях выяснения степени их индивидуальности и пригодности для количественного и качественного анализа. Для демонстрации этих возможностей исследовали спектры ИК-поглощения чистой целлюлозы эвкалипта. Исследования ограничивались областью частот поглощения валентными колебаниями гидроксильных групп, максимально чувствительных к состоянию Н-связей [Шабиев и др., 2020; Фенгель, 1992].

В работе используется метод Фурье ИК-спектроскопии, завоевавший прочное место в ряду средств диагностики целлюлозосодержащих материалов.

Метод исследования. Методами Фурье инфракрасной спектроскопии произведено сравнение систем водородных связей (Н-связей) в образцах чистой целлюлозы древесины эвкалипта, из Бразилии, с верхним слоем бересты, полученной от древесины березы в Лен. области России. Были исследованы интервалы частот, которые наиболее чувствительны к возникновению Н-связей, от $3000\text{--}3700\text{ см}^{-1}$ и $2700\text{--}3700\text{ см}^{-1}$, в зависимости от количества рассматриваемых гаусс-контуров. Отличительная особенность настоящего исследования состоит в том, что все измерения производились на натуральной бересте древесины берёзы. Полученные данные были сопоставлены с белой технической целлюлозой, полученной из древесины

эвкалипта промышленным методом ECF (с отбелкой без элементарного хлора), в такой целлюлозе остаточное содержание лигнина минимальное.

Результаты молекулярного исследования Н-связей. Для оценки параметров Н-связей производилась деконволюция полос поглощения ОН-групп гауссовыми компонентами. Для корректного сравнения между деконволюцией на 7 и 9 гаусс-контуров было проведено сопоставление данных деконволюции 2 образцов бересты с образцом целлюлозы эвкалипта, который был использован как эталон ввиду отсутствия погрешности в области поглощения гидроксильных групп. Это было сделано для определения более точного способа деконволюции, для дальнейшей возможности исследования прочности древесины на молекулярном уровне.

Деконволюция бересты на 7 гауссов показана на рис. 1, параметры гаусс-контуров представлены в табл. 1. Сдвиг максимумов частот гаусс-контуров вычисляется относительно частоты поглощения изолированной гидроксильной группой (по этой причине он не охвачен Н-связью). Для определения энергии Н-связей использовались литературные данные по коррекции энергии Н-связи с частотным сдвигом. Относительная плотность Н-связей оценивалась по отношению площадей контуров деконволюции.

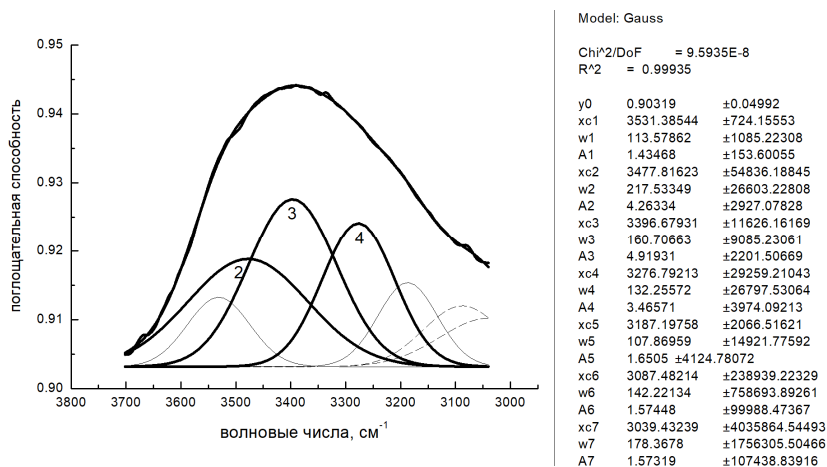


Рис. 1. Фрагмент спектра поглощательной способности бересты в диапазоне 3700–3000 см⁻¹. Деконволюция на 7 гаусс-контуров. R²=0,99935. Штрихованные гауссовы контуры не относятся к Н-связи ОН групп, поэтому в таблице содержатся параметры, относящиеся к 2, 3 и 4 гаусс-контуров соответственно

Fig. 1. Fragment of the absorbance spectrum of birch bark in the range 3700–3000 cm⁻¹. Deconvolution into 7 Gaussian contours. R²=0.99935. Dashed Gauss contours do not refer to H-bonding of OH groups so the table contains parameters relating to the 2nd, 3rd and 4th Gauss contours respectively

Таблица 1

Параметры деконволюции бересты верхнего слоя на 7 гаусс-контуров

Upper layer birch bark deconvolution parameters for 7 Gauss contours

Максимум гаусс-контура, см ⁻¹	Площадь гаусс-контура	Длина водородной связи d, мкм	Сдвиг частот, см ⁻¹	Плотность Н-связи относительная, %	Энергия водородной связи, кДж/моль	Тип водородной связи, Н-связи
3478	4,26	0,266	172	30,4	9,83	O(C ₂)H-O(C ₆) внутримолекул
3397	4,92	0,271	253	35,2	15,2	O(C ₃)H-O(C ₅) внутримолекул
3276	3,47	0,276	374	24,8	21,2	O(C ₆)H-O(C ₃) межмолекул

Деконволюция верхнего слоя бересты на 9 гауссов приведена на рис. 2, параметры деконволюции представлены в табл. 2

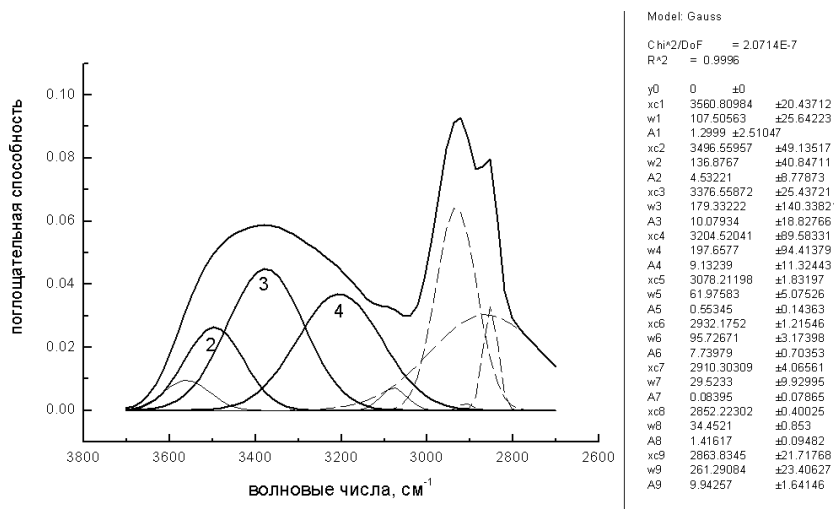


Рис.2. Фрагмент спектра поглощательной способности бересты в диапазоне 3700–2700 см⁻¹. Деконволюция на 9 гаусс-контуров. R²=0.9996

Fig. 2. Fragment of the absorbance spectrum of birch bark in the range 3700–2700 cm⁻¹. Deconvolution to 9 Gaussian contours. R²=0.9996

Таблица 2

Параметры деконволюции 9 гаусс-контуров ИК-спектра Бересты
Deconvolution parameters on the 9 Gaussian contours of the Beresta IR spectrum

Максимум гаусс-контура, см ⁻¹	Площадь контура, отн.ед.	Длина Н-связи, мкм	Сдвиг частот, от 3650 см ⁻¹	Плотность Н-связи относительная, %	Энергия Н-связи, кДж/моль	Тип Н-связи в целлюлозе древесины
3497	4,5	0,278	153	17,7	8,42728	O(C ₂)H-O(C ₆) внутримолекул
3377	10	0,272	273	39,3	16,33768	O(C ₃)H-O(C ₅) внутримолекул
3205	9,1	0,265	445	35,8	23,658	O(C ₆)H-O(C ₃) межмолекул

Полученные данные от деконволюции бересты на 7 и 9 гаусс-контуров были сопоставлены с данными, полученными от деконволюции чистой целлюлозы эвкалипта на 9 гаусс-контуров с минимальной погрешностью.

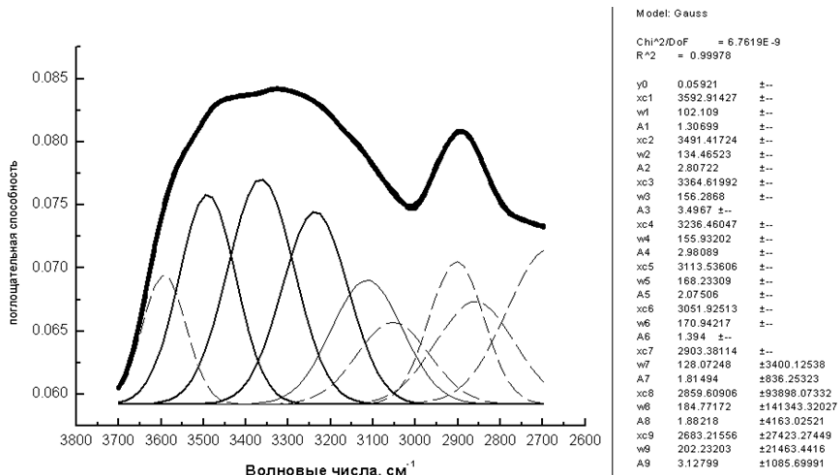


Рис. 3. Фрагмент спектра поглощательной способности чистой целлюлозы эвкалипта, Бразилия. Коэффициент регрессии $R^2=0.99978$, причём, в диапазоне 3700–3000 см⁻¹ погрешности частот максимумов гаусс-контуров отсутствуют

Fig. 3. Fragment of the absorbance spectrum of pure eucalyptus cellulose, Brazil. The regression coefficient $R^2=0.99978$, and there are no errors in the frequencies of the maxima of the Gaussian contours in the range 3700–3000 cm⁻¹

Таблица 3

Параметры деконволюции для чистой целлюлозы древесины эвкалипта
deconvolution parameters for pure eucalyptus wood pulp

Максимум гаусс-контура, см ⁻¹	Площадь гаусс-контура	Длина водородной связи d, мкм	Сдвиг частот, см ⁻¹	Плотность Н-связи относительно в %	Энергия водородной связи, кДж/моль	Тип водородной Н-связи
3491	2,81	0,282	159	22,2	8,87752	O(C ₂)H-O(C ₆) внутримолекул
3365	3,5	0,275	285	27,6	17,002	O(C ₃)H-O(C ₃) внутримолекул
3236	2,98	0,270	414	23,5	22,68832	O(C ₆)H-O(C ₃) межмолекул

Сравнивая полученные данные, можно прийти к выводу, что для более точного изучения образцов необходимо использовать деконволюцию на 9 гаусс-контуров, так как при сопоставлении табличных данных, было установлено, что значения энергии и длины Н-связи наиболее схожи между образцами, подвергнутыми разложению на 9 гаусс-контуров. Поэтому для последующих исследований прочности на молекулярном уровне и её вклада в механическую прочность древесины необходимо использовать деконволюцию на 9 гаусс-контуров. Доверительный интервал в этом случае минимальный.

Результаты механического исследования. Для примера ниже приведены параметры исследования и результаты, полученные при изучении механической прочности бересты в лаборатории «Прочности» ФИЗТЕХ АН (таблицах 4 и 5). Пример образцов бересты 4, 5.



Рис. 4. Образец бересты
Fig. 4. Sample of birch bark

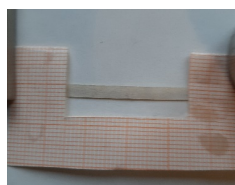


Рис. 5. Растяжение упругой целлюлозы содержащей бересты
Fig. 4. Stretching obstinate contain of cellulose of birch bark.

Таблица 4

Береста, механическая прочность, параметры исследования**Birch bark, mechanical strength, study parameters**

Keyword		ProductName	
TestFileName		MethodFileName	10-11-2021-Беесра.mak, birch bark
	10-Nov-21	TestDate	10-Nov-21
TestMode	Single	TestType	Tensile
Speed	10mm/min	Shape	Plate
NoofBatches:	1	Qty/Batch:	3

Таблица 5

Береста, механическая прочность, полученные данные, по 3 образцам**Birch bark, mechanical strength data obtained, for 3 samples**

Name	Break_Force	Break_Stress	Break_Strain
Parameters	Sensitivity:10	Sensitivity:10	Sensitivity:10
Unit	N	MPa	%
Беесра-1	4,695	17,425	9,910
Беесра-2	4,635	17,293	5,461
Беесра-3	4,484	19,242	11,038
Average	4,605	17,987	8,803
StandardDeviation	0,109	1,089	2,949
Range	0,211	1,949	5,577
Name	Break_Force	Break_Stress	Break_Strain

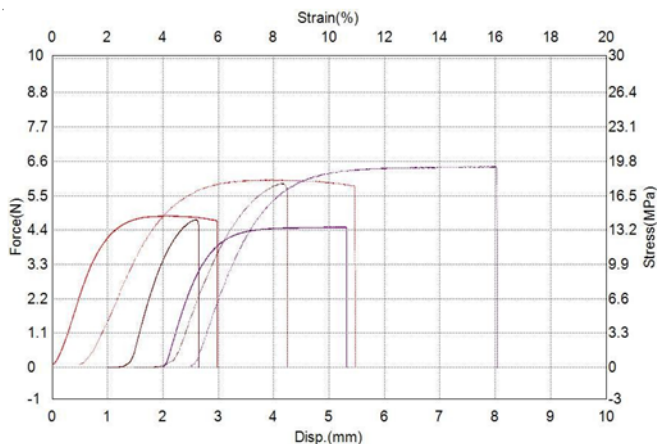


Рис. 6. График прочности, исследованных образцов бересты

Fig.6. Strength graph of the tested birch bark samples

Выводы. Обсуждение результатов. В слоях бересты отличают по ИК-спектроскопии и параметрам деконволюции межмолекулярные взаимодействия и внутримолекулярные. Причём межмолекулярные взаимодействия плотностью Н-связей относятся к прочности. Сравнение с чистой целлюлозой эвкалипта по параметрам деконволюции без погрешностей в области поглощения ОН-групп позволяет использовать метод деконволюции ФТИР спектроскопии по параметрам деконволюции: плотности Н-связей, её энергии, длины водородных связей более определённо. И возможно, в будущем удастся установить корреляцию между параметрами, полученными при исследовании механической прочности, и параметрами водородной связи на молекулярном уровне. Энергия межмолекулярного взаимодействия бересты 21–23 кДж/моль, чистой целлюлозы эвкалипта 22,7 кДж/моль, механическая бересты 17–19 МПа одного порядка.

Оказалось, что энергии Н-связей всех исследованных образцов для всех типов Н-связей совпадают или весьма близки друг к другу, однако их плотности различаются. Наиболее близко совпадают распределения плотностей связей по энергиям в химически чистой целлюлозе эвкалипта и в верхнем слое бересты. ИК ФТИР спектр химически чистой беленой целлюлозы эвкалипта при деконволюции на 9 гаусс-контуров в результате без погрешностей в диапазоне длин волн ($3700\text{--}3000\text{ см}^{-1}$) имеет значение для сравнительного анализа параметров деконволюции бересты и разных типов древесины.

На ИК-спектре поглощательной способности эвкалиптовой целлюлозы можно наблюдать характеристические провалы по амплитуде совпадающие с максимумами гауссовых контуров, что обуславливает идеальную сходимость гауссовых контуров. Высокая сходимость результатов деконволюции можно интерпретировать тем, что беленая эвкалиптовая целлюлоза имеет ничтожное содержание лигнина и высокое содержание полисахаридов, которые образуют одинаковые Н-связи между фибриллами и поверхностными макромолекулами разных полисахаридов.

Оценка величин водородных связей позволяет различать гидроксильные группы глюкозы и адсорбированной воды. Характеристический смысл метилметиленовых групп спектра авторами не рассматривается, однако на коэффициент регрессии влияет положительно при деконволюции на Гаусс-контур. В результатах ниже отображены данные полученные как при исследовании гаусс-контуров методом ФТИР спектроскопии, а также данные касающиеся механической прочности, полученные при изучении в лаборатории.

Закключение, рекомендации. Актуальны ФТИР ИК спектроскопия в исследовании прочности древесины разных (хвойных, лиственных) пород и механических показателей, целлюлозообразно получение химически чи-

стой целлюлозы из предварительно проанализированной древесины. Необходимо производство техническое химически чистой целлюлозы древесины для определения рассмотренных выше параметров методом деконволюции ФТИР ИК спектроскопии и связь в сравнении с чисто механическими методами исследования.

Библиографический список

Иванова Е.И., Смолин А.С., Звонарева Т.К., Иванов-Омский В.И. Исследование системы водородных связей в бумаге // Химия Растительного сырья. 2015. DOI: 10.14258/jcprm/20151386

Иванова Е.И., Иванов-Омский В.И., Давыдова И.А., Гриненко Е.В., Леонтьев Л.Л., Селиховкин А.В. Изменение структуры водородных связей в древесине вяза в связи с повреждением струйчатым заболонником // Scolytusmultistriatus (Marshall Coleoptera: Curculionidae, Scolionidae, Scolytinae // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2018. Вып. 222. С. 23–35.

Иванова Е.И., Герасюта. С.М., Иванов-Омский В.И. Сравнение систем водородных связей в древесине и бумаге // Лесной журнал. 2016. Вып. I. С. 147–154. DOI: 10.17238/issn 0536-1036.1.S.147-154.

Иванов-Омский В.И. ИК-спектроскопия водородных связей D-глюкозе // Письма в ЖТФ. 2014. Т. 40(18). С. 29–34.

Лянс С.И., Марчсэлт Р.Х. ИК-спектры кристаллических полисахаридов. 1. Водородные связи в природной целлюлозе // J. Polim. Sci. 1959. Т. 37. С. 385–395.

Фенгель Д. Характеризация целлюлозы с помощью деконволюции области валентных колебаний ОН-групп в Фурье ИК-спектрах // Holzforschung. 1992. Т. 46. С. 283–288,

Шабиев Р.О., Смолин А.С., Иванов-Омский В.И., Звонарева Т.К., Трапезникова И.Н. Ручной метод для исследования системы водородной связи бумаги, подходящей для контроля подготовки бумаги // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2020. Вып. 230. С. 100–113. DOI: 10.212 66/2079-4304.2020.230.100-113

References

Fengel D. с characterization of cellulose using deconvolution of the region of stretching vibrations of OH groups in Fourier transform IR spectra. *Holzforschung*, 1992, vol. 46, pp. 283–288.

Ivanova E.I., Gerasyuta S.M., Ivanov-Omsky V.I. Comparison of hydrogen bond systems in wood and paper. *Forest Journal*, 2016, iss. I, pp. 147–154. DOI: 10.17238/issn0536-1036.1.S.147-154. (In Russ.)

Ivanova E.I., Ivanov-Omsky V.I., Davydova I.A., Grinenko E.V., Leontyev L.L., Selikhovkin A.V. Change in the structure of hydrogen bonds in elm wood due to

damage by the jetted scrubber *Scolytus multistriatus* (Marshall) (Coleoptera: Curculionidae, Scolionidae, Scolytinae). *Izvestia Sankt-Peterburgskoy Lesotekhnicheskoy Akademii*, 2018, iss. 222, pp. 23–35. (In Russ.)

Ivanova E.I., Smolin A.S., Zvonareva T.K., Ivanov-Omsky V.I. Research of the hydrogen bonds system in paper. *Chemistry of Plant Raw Materials*, 2015. DOI: 10.14258/jcprm/20151386. (In Russ.)

Ivanov-Omskiy V.I. IR-spektroskopiya vodorodnykh svyazey v D-glyukoze [IR Spectroscopy Bonds in D-Glucose]. *Pis'ma v Zhurnal Tekhnicheskoy Fiziki [Technical Physics Letters]*, 2014, vol. 40(18), pp. 29–34. (In Russ.)

Lyang S.I. Marchesselt R.H. IR spectra of crystalline polysaccharides. 1. Hydrogen bonding in natural cellulose. *J. Polim.Sci.*, 1959, vol. 37, pp. 385–395.

Shabiev R.O., Smolin A.S., Ivanov-Omskiy V.I., Zvonareva T.K., Trapeznikova I.N. A new hands-on method to investigate the system of hydrogen bonds in paper. *Izvestia Sankt-Peterburgskoy Lesotekhnicheskoy Akademii*, 2020, iss. 230, pp. 100–113. DOI: 10.21266/2079-4304.2020.230.100-113. (In Russ.)

Материал поступил в редакцию 17.05.2022

Иванов-Омский В.И., Звонарева Т.К., Кадомцев А.Г., Иванова Е.И., Леонтьев Л.Л., Лобок И.Д. Оценка прочности бересты путем количественного исследования водородных связей методом ИК-спектроскопии // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2022. Вып. 241. С. 256–267. DOI: 10.21266/2079-4304.2022.241.256-267

Методами Фурье инфракрасной спектроскопии произведено сравнение систем водородных связей (Н-связей) в природной естественной бересте и технической беленой целлюлозы эвкалипта. Интервалы исследования частот (волновых чисел) $3000\text{--}3700\text{ см}^{-1}$ и $2700\text{--}3700\text{ см}^{-1}$ содержат область поглощения гидроксильными группами ОН, частоты которых порядка $3400, 3300, 3200\text{ см}^{-1}$ наиболее чувствительны к возникновению Н-связей целлюлозы. Отличительная особенность исследования состоит в том, что все измерения ИК – спектров пропускания и механического воздействия производились на натуральной бересте, упругой при продольном растяжении. Уменьшение пропускания вдали от полос поглощения связывалось с рассеянием излучения на естественной неоднородности древесины материала бересты, которая благодаря высокому качеству спилов оказалось достаточно малым, чтобы препятствовать детальному исследованию спектров поглощения (поглощательной способности). Для оценки параметров Н-связей производилась деконволюция полос поглощения гидроксильных ОН групп на 7 и 9 гауссовых контуров с целью исследования влияния метил-метилена на коэффициент регрессии R^2 и исследования природы порядка взаимодействия в целлюлозосодержащем сырье, так называемый характеристический «носик» для дальнейших

исследований, так как авторами не рассматривается в данной работе. В дальнейшем анализировались только параметры контуров деконволюции, относящиеся к гидроксильным группам. Принималось, что каждый гаусс-контур деконволюции может быть ассоциирован с определенным типом Н-связи (водородной связи). Определяется сдвиг частот компонент деконволюции, т.е. максимумов гаусс-контуров относительно собственной частоты колебаний гидроксильной группы, не охваченной по этой причине Н-связью. Для определения энергии Н-связей использовались литературные данные по корреляции энергии Н-связи с частотным сдвигом. Относительная плотность Н-связей оценивалась по отношению площадей гаусс-контуров деконволюции. Оказалось, что энергии и плотности для всех типов связи различаются. Оказалось, что плотности наиболее сильных межмолекулярных водородных связей, энергии и длины связей одного порядка величины природной бересты и технической беленой целлюлозы, при деконволюции спектра в области ОН без погрешностей показателна и полезна для сравнительного анализа с разными породами лиственных и хвойных целлюлозосодержащих, вместо принятой ранее высокотехнологичной беленой и небеленой конденсаторной бумаги.

Ключевые слова: Фурье ИК-спектроскопия, водородные связи, прочность, целлюлоза, береста, эвкалипт.

Ivanov-Omsky B.I., Zvonareva T.K., Kadomtsev A.G., Leontiev L.L., Lobok I.D. Evaluation of birch bark strength by quantitative study of hydrogen bonds by IR spectroscopy. *Izvestia Sankt-Peterburgskoj Lesotekhniceskoj Akademii*, 2022, iss. 241, pp. 256–267 (in Russian with English summary). DOI: 10.21266/2079-4304.2022.241.256-267

The systems of hydrogen bonds (H-bonds) in natural natural birch bark and technical bleached eucalyptus cellulose have been compared by the methods of Fourier infrared spectroscopy. Study frequency intervals (wave numbers) of $3000\text{--}3700\text{ cm}^{-1}$ and $2700\text{--}3700\text{ cm}^{-1}$ contain the absorption region of hydroxyl groups of OH, whose frequencies in the order of $3400, 3300, 3200\text{ cm}^{-1}$ are most sensitive to the formation of H-bonds of cellulose. A distinctive feature of the study is that all measurements of IR-spectra of transmittance and mechanical influence were made on natural birch bark, elastic under longitudinal stretching. The decrease of transmittance far from absorption bands was due to scattering of radiation on natural heterogeneity of birch bark wood material, which due to high quality of cuttings turned out to be small enough to prevent detailed study of absorption spectra (absorptivity). To estimate parameters of H-bonds, we performed deconvolution of absorption bands of hydroxyl OH groups on 7 and 9 gauss contours in order to study the effect of methyl methylene on the regression coefficient $R^{\wedge}$ and study the nature of the interaction order in cellulose-bearing raw material, the so-called characteristic «nose» for further research as it is not considered in this paper. In the following, only the parameters of the deconvolution

contours related to hydroxyl groups were analyzed. It was assumed that each Gaussian deconvolution contour can be associated with a certain type of H-bond (hydrogen bond). The shift in the frequencies of the deconvolution components, i.e. the maxima of the Gaussian contours relative to the natural frequency of the hydroxyl group, not covered by the H-bond for this reason, was determined. Literature data on the correlation of H-bond energy with frequency shift were used to determine the H-bond energy. The relative density of H-bonds was estimated from the ratio of Gaussian deconvolution contour areas. The energies and densities were found to be different for all bond types. It was found that the densities of the strongest intermolecular hydrogen bonds, energies and bond lengths of the same order of magnitude of natural birch bark and technical bleached cellulose, when deconvolving the spectrum in the OH region without error are indicative and useful for comparative analysis with different species of hardwood and softwood cellulose, instead of the previously adopted high-tech bleached and unbleached condensed paper.

Keywords: Fourier infrared spectroscopy, hydrogen bonds, strength, cellulose, birch bark, eucalyptus.

ИВАНОВ-ОМСКИЙ Владимир Иванович – профессор РАН, Физико-технический институт РАН имени Иоффе.

194021, ул. Политехническая, д. 26, Санкт-Петербург, Россия. E-mail: Ivanov-omsky@ioffe.mail.ru

IVANOV-OMSKII Vladimir I. – professor of Russian Academy of Sciences, the Ioffe Physical Technical Institute of Russian Academy of Sciences (Ioffe Institute).

194021. Polytechnicheskaya str. 26. St. Petersburg. Russia. E-mail: Ivanov-omsky@ioffe.mail.ru

ЗВОНАРЕВА Татьяна Константиновна – научный сотрудник Физико-технического института РАН имени Иоффе.

194021, ул. Политехническая, д. 26, Санкт-Петербург, Россия. E-mail: Ivanov-omsky@ioffe.mail.ru

ZVONARYOVA Tatiana K. – scientist of the Ioffe Physical Technical Institute of Russian Academy of Sciences (Ioffe Institute).

194021. Polytechnicheskaya str. 26. St. Petersburg. Russia. E-mail: Ivanov-omsky@ioffe.mail.ru

КАДОМЦЕВ Андрей Георгиевич – Заведующий лабораторией физики прочности Физико-технического института имени А.Ф. Иоффе РАН.

194021, ул. Политехническая, д. 26, Санкт-Петербург, Россия. E-mail: mailto:andrej.kadomtsev@mail.ioffe.ru

KADOMTSEV Andrei G. – Head of Strength Physics Laboratory, Ioffe Phys.

194021. Polytechnicheskaya str. 26. St. Petersburg. Russia. E-mail: <mailto:andrej.kadomtsev@mail.ioffe.ru>

ИВАНОВА Елена Ивановна – доцент Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета имени С.М. Кирова, кандидат физико-математических наук.

194921, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия. E-mail: elen.ivom@gmail.com

IVANOVA Elena I. – PhD (Physical and Mathematical Sciences), Associate Professor, St.Petersburg State Forest Technical University.

194921. Institute per. 5. St. Petersburg. Russia, E-mail: elen.ivom@gmail.com

ЛЕОНТЬЕВ Леонид Леонидович – доцент Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета имени С.М. Кирова, кандидат биологических наук.

194921, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия. E-mail: Leontyev-lta@mail.ru

LEONTIEV Leonid L. – PhD (Biology), Associate Professor, St.Petersburg State Forest Technical University.

194921. Institute per. 5. St. Petersburg. Russia, E-mail: Leontyev-lta@mail.ru

ЛОБОК Иван Дмитриевич – бакалавр Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета имени С.М. Кирова.

194921, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия. E-mail: Ivan.lobok@mail.ru

LOBOK Ivan D. – bachelor, St.Petersburg State Forestry Technical University.

194921. Institute per. 5. St. Petersburg. Russia, E-mail: Ivan.lobok@mail.ru