

УДК 674.048

ИК-СПЕКТРОСКОПИЯ ДРЕВЕСИНЫ СОСНЫ, БЕРЕЗЫ И ДУБА, МОДИФИЦИРОВАННОЙ МОНОЭТАНОЛАМИН(N→В)ТРИГИДРОКСИБОРАТОМ

© *И.А. Котлярова*

*Брянский государственный технический университет, бульвар 50 лет
Октября, 7, Брянск, 241035 (Россия), e-mail: iakotlyarova@list.ru*

В статье приведены результаты ИК-спектроскопического исследования древесины сосны, березы и дуба, модифицированной 50% водным раствором моноэтанолмин(N→В)тригидроксидбората. ИК-спектры образцов березы и дуба, модифицированных моноэтанолмин(N→В)тригидроксидборатом, получены впервые. Установлено, что модификатор при комнатной температуре химически взаимодействует с реакционноспособными группами исследуемых древесных пород; образуемые химические связи гидролитически устойчивые. Выявлено, что изменение надмолекулярной структуры модифицированной древесины связано с изменением системы водородных связей. Показано, что при модифицировании моноэтанолмин(N→В)тригидроксидборатом не происходит разрушение ароматических колец лигнина и основных цепей макромолекул целлюлозы, т.е. модифицирование происходит в «мягких» условиях. Установлено, что при модифицировании древесины сосны модификатор взаимодействует с первичными гидроксильными группами целлюлозы и карбоксильными группами лигнина; при модифицировании древесины березы и дуба моноэтанолмин(N→В)тригидроксидборат преимущественно взаимодействует с карбоксильными группами лигнина. Плотность прививки модификатора зависит от доступности реакционноспособных групп древесного композита, и уменьшается с увеличением плотности древесины. Учитывая, что поверхностные привитые соединения определяют многие свойства древесины (удельную поверхность, водопоглощение, набухание, био- и огнестойкость), разные плотность прививки и поверхностное распределение привитых молекул модификаторов на поверхности древесины исследуемых образцов приведет к различиям в перечисленных свойствах модифицированных древесных материалов.

Ключевые слова: древесина, модифицирование, моноэтанолмин(N→В)тригидроксидборат, целлюлоза, лигнин.

Введение

При поверхностном модифицировании древесины изменяется химический состав ее поверхности за счет привития молекул модификаторов. Это приводит к изменению эксплуатационных свойств древесины – ее способности поглощать воду и набухать, сопротивляться биодegradации, формировать более или менее прочный адгезионный контакт с лакокрасочными покрытиями [1, 2].

Ранее установлено, что влияние модифицирования моноэтанолмин(N→В)тригидроксидборатом на набухание в воде древесины сосны, березы и дуба отличается при сохранении общей тенденции – равновесная степень набухания и скорость набухания модифицированной древесины ниже нативной для всех исследуемых образцов [3]. Очевидно, что эффективность модифицирования и, следовательно, изменение свойств древесины зависит от доступности для молекул модификатора реакционноспособных групп древесного композита, т.е. отличается для древесины различных пород.

В связи с этим целью нашего исследования стало изучение изменения надмолекулярной структуры модифицированной древесины и характера взаимодействия моноэтанолмин(N→В)тригидроксидбората с компонентами древесного композита методом ИК-Фурье спектроскопии.

ИК-спектр древесины достаточно сложен, так как представляет собой не просто сумму полос поглощения отдельных компонентов древесины, но включает в себя полосы, характеризующие связи, существующие между макромолекулами целлюлозы, лигнина и гемицеллюлоз. Интерпретация ИК-спектров модифи-

*Котлярова Ирина Александровна – кандидат
технических наук, доцент кафедры машиностроения
и материаловедения, e-mail: iakotlyarova@list.ru*

цированной древесины усложняется тем, что частоты валентных колебаний связей N→В, В-О мо-

лекул модификатора совпадают со значениями частот связей С–С, С–О компонентов древесины, поэтому в спектрах модифицированных образцов происходит наложение полос поглощения.

Учитывая разную массу исследуемых образцов, оценить изменение интенсивности полос модифицированной древесины относительно исходной не представляется возможным. В связи с этим анализировали смещение максимумом полос поглощения и изменение их интенсивности относительно соседних пиков.

Визуально в ИК-спектре древесины можно выделить несколько областей: область 3700–3100 см⁻¹ характеризует валентные колебания различных типов гидроксильных групп, вовлеченных в водородные связи; область 3100–2750 см⁻¹ – область симметричных и асимметричных валентных колебаний С–Н групп метильных, метиленовых, метинных группировок компонентов древесного композита; область 1800–1000 см⁻¹ (область «отпечатков пальцев») – область валентных колебания групп с кратными связями (С=О, С=C, С_{Ar}-С_{Ar}), валентных колебаний С–С и С–О связей, а также деформационных колебаний С–Н связей и ОН-групп лигнина и целлюлозы и гемицеллюлоз; область 1000–650 см⁻¹ – область внеплоскостных деформационных колебаний С–Н-связей ароматического кольца лигнина, колебаний глюкопиранозного кольца целлюлозы и гемицеллюлоз, внеплоскостных деформационных колебаний ОН-групп целлюлозы и гемицеллюлоз [4–11].

Экспериментальная часть

В качестве объектов исследования использовали образцы древесины сосны (хвойная порода), березы (лиственничная, рассеяннососудистая порода) и дуба (лиственничная, кольцесосудистая порода). Навески воздушно-сухой древесины (размер частиц 1–3 мм) помещали в 50%-ный водный раствор моноэтаноламин(Н→В)-тригидроксибората при комнатной температуре (время модифицирования – 1 ч). Соотношение компонентов – опилки древесины (г) : раствор модификатора (мл) = 1 : 10. Модифицированные образцы высушивали на воздухе до воздушно-сухого состояния, затем экстрагировали дистиллированной водой для удаления избытка модификатора, не прореагировавшего с компонентами древесины, в течение 1 ч и сушили на воздухе до постоянной массы.

ИК-спектр образцов нативной и модифицированной древесины регистрировали на ИК-Фурье-спектрометре JascoFT/IR-4100 со спектральным разрешением 2 см⁻¹. Для приготовления образцов опилки растерли с КВг в агатовой ступке (10 мг опилок на 70 мг КВг) и прессовали в таблетки, от которых и были получены спектры. Спектр чистого КВг вычитали из полученных спектров.

Обсуждение результатов

Полученные ИК-спектры исходных и модифицированных образцов приведены на рисунках 1–3, из которых следует, что в избранном масштабе полученные ИК-спектры во многом подобны.

Полученные ИК-спектры свидетельствуют о том, что в результате химического модифицирования произошло преобразование надмолекулярной структуры древесины сосны. Полоса 3418 см⁻¹ в спектре немодифицированного образца, отвечающая за валентные колебания ОН-групп, вовлеченных в водородные связи, смещается в спектре модифицированной древесины сосны в сторону больших волновых чисел (3422 см⁻¹). Вероятно, это свидетельствует о снижении количества гидроксильных групп древесины, вовлеченных в Н-связи и их участии в образовании сложноэфирных связей с молекулами модификатора (рис. 1) [10–12].

В ИК-спектрах модифицированных образцов дуба и березы полоса валентных ОН-колебаний смещается в область более низких значений (3433 → 3423 см⁻¹ у дуба, 3448 → 3423 см⁻¹ у березы) по сравнению с немодифицированными образцами. Наблюдаемое смещение указывает на образование более прочных водородных связей в древесном композите (рис. 2, 3) [13].

Полученные спектроскопические данные указывают на неравномерность модифицирования моноэтаноламин(Н→В)-тригидроксиборатом древесины различных пород. Модифицирование древесины сосны в связи с высокой плотностью прививки приводит к ослаблению системы водородных связей. Образование более прочных Н-связей в модифицированных дубе и березе, вероятно, связано со взаимодействием молекул модификатора с ОН-группами аморфных областей компонентов древесины и увеличением упорядоченности модифицированных продуктов за счет возникновения водородных связей «модификатор – ОН-группы древесного композита». Низкая плотность прививки не приводит к разрушению надмолекулярной структуры древесины, обусловленной системой Н-связей [14].

Валентные колебания С-Н связей в метиленовых и метиновых группах компонентов древесины проявляются в области $3100\text{--}2750\text{ см}^{-1}$, максимум в этой области ($2921\text{--}2919\text{ см}^{-1}$) относится к валентным колебаниям метиленовой группы ($-\text{CH}_2$). Из данных ИК-спектроскопического анализа следует, что положение максимумов в этой области для всех исследуемых образцов практически совпадают. При модифицировании происходит незначительное смещение максимумов в низкочастотную область. Это указывает на увеличение количества $-\text{CH}_2$ групп в модифицированных образцах относительно исходной древесины и подтверждает факт химического модифицирования древесины сосны, дуба и березы с моноэтаноламин($\text{N}\rightarrow\text{B}$)тригидроксидом [13].

Полоса поглощения $1736\text{--}1731\text{ см}^{-1}$ вызвана валентными колебаниями карбоксильных и карбонильных групп лигнина и гемицеллюлоз. Модифицирование образцов древесины всех пород приводит к резкому уменьшению интенсивности данной полосы и указывает на химическое взаимодействие молекул модификатора с $\text{C}=\text{O}$ -группами лигнина и гемицеллюлоз [15, 16].

Поглощение при $1654\text{--}1636\text{ см}^{-1}$ вызвано наличием связанной воды в древесине. При уменьшении влажности древесины максимум несколько смещается в сторону меньших волновых чисел.

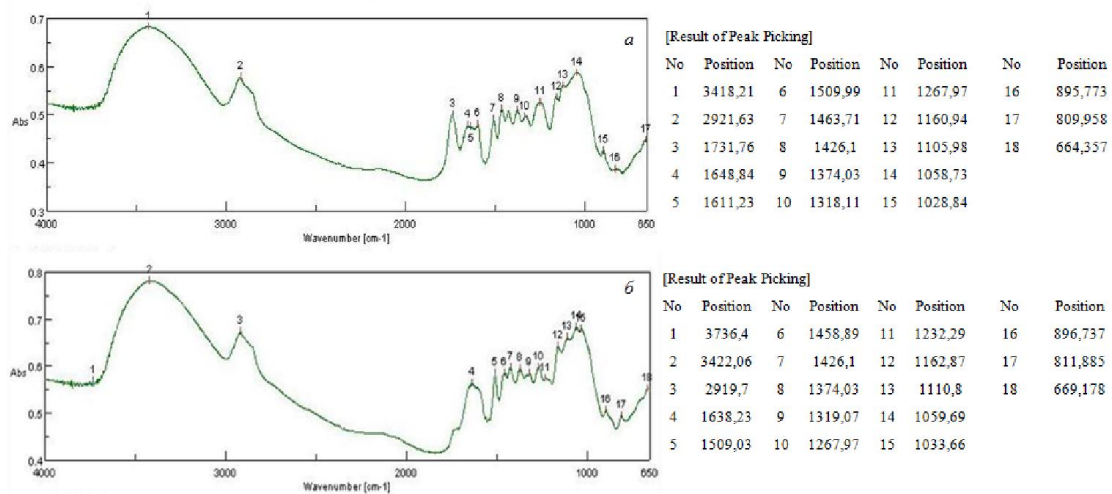


Рис. 1. ИК-спектры исходных (а) и модифицированных (б) образцов сосны

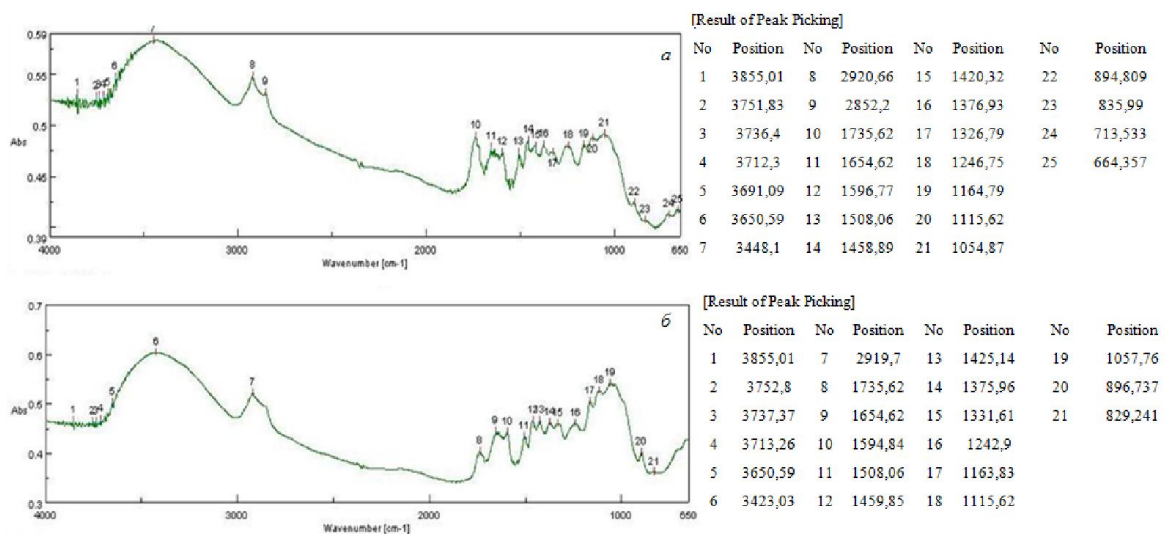


Рис. 2. ИК-спектры исходных (а) и модифицированных (б) образцов березы

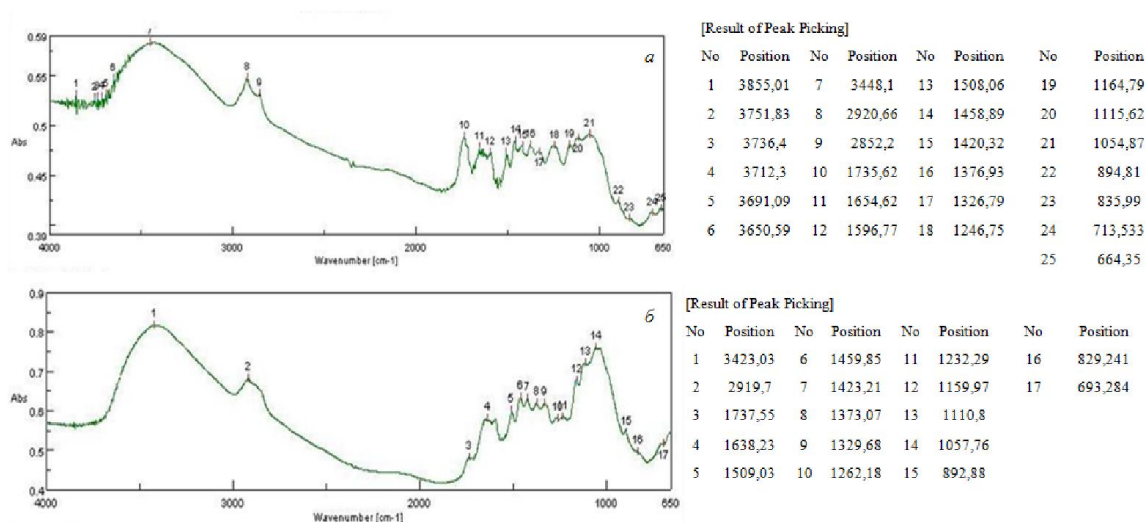


Рис. 3. ИК-спектры исходных (а) и модифицированных (б) образцов дуба

Полосы 1596–1594 и 1509–1508 cm^{-1} относятся к скелетным колебаниям ароматического кольца лигнина. Причем в спектрах хвойных пород древесины интенсивность полосы при 1596–1594 cm^{-1} ниже, чем интенсивность полосы при 1509–1508 cm^{-1} . В ИК-спектрах лиственных пород интенсивности этих двух полос приблизительно одинаковые. Химическое модифицирование древесины не оказывает значительного влияния на положение данных полос, т.е. при модифицировании не происходит разрушение ароматических колец лигнина [15].

Полосы при 1465–1458 cm^{-1} , 1426–1420 cm^{-1} характеризуют различные С-Н-колебания метильных, метиленовых, метоксильных групп лигнина, гемицеллюлоз и целлюлозы. Полоса 1426–1420 cm^{-1} – полоса кристалличности (критерий О'Коннора), при аморфизации ее интенсивность уменьшается. При модифицировании всех исследуемых образцов древесины интенсивность данной полосы увеличивается относительно соседних пиков. Это указывает на «мягкий» характер модифицирования, при котором не происходит деструкции основных цепей макромолекулярных компонентов древесины, т.е. модифицирование древесины моноэтанолмин(N→В)тригидроксиборатом носит характер полимераналогичного превращения [4, 16, 17].

Полосу 1376–1374 cm^{-1} соотносят с алифатическими С-Н-симметричными деформационными колебаниями в метильной группе лигнина и деформационными колебаниями С-Н связи целлюлозы. Полоса 1334–1318 cm^{-1} соответствует скелетным колебаниям сиригильного кольца лигнина в лиственных породах, колебаниям конденсированного гваяцильного кольца лигнина хвойных пород, для целлюлозы – деформационным колебаниям О-Н связи в плоскости. Некоторое увеличение интенсивности последней полосы относительно соседних пиков, вероятно, связано с колебаниями связи В-О-С молекул модификатора [18].

Интересно отметить, что интенсивность всех полос в диапазоне 1465–1318 cm^{-1} возрастает при модифицировании относительно пика 1509–1508 cm^{-1} . Это указывает на прививку модификатора к исследуемым образцам, так как молекула моноэтанолмин(N→В)тригидроксибората содержит группы - CH_2 и -ОН.

Пик 1267 cm^{-1} на ИК-спектрах исходной и модифицированной древесины сосны связан с колебаниями ароматического кольца гваяцильного типа и С-О колебаниями метоксильных групп ароматического кольца гваяцильного типа. Полосы при 1248–1232 cm^{-1} характеризуют колебания ароматического кольца сиригильного типа и колебания С-О связи в лигнине и ксилане [19]. При модифицировании древесины сосны, березы и дуба моноэтанолмин(N→В)тригидроксиборатом интенсивность данной полосы поглощения уменьшается на всех спектрах.

Полоса 1164–1159 cm^{-1} соответствует ароматическим С-Н плоскостным деформационным колебаниям лигнина, С-О валентным или О-Н деформационным колебаниям С-ОН группы целлюлозы, асимметричным валентным колебаниям моста С-О-С между ксилопиранозными единицами ксилана.

Полоса 1121–1110 cm^{-1} характеризует валентные колебания глюкопиранозного кольца целлюлозы, С-О валентные колебания вторичной спиртовой группы ксилана. Интенсивность этой полосы возрастает при модифицировании у всех образцов. Поглощение при 1200–1100 cm^{-1} соответствует валентным колебаниям

N-B в тетраэдре [20]. Увеличение интенсивности данной полосы подтверждает химическое взаимодействие молекул модификатора с реакционноспособными группами древесинного композита и образование сложноэфирных связей.

Полоса 1058–1047 см^{-1} соответствует C-O валентным колебаниям ксилана, ароматическим C-H плоскостным деформационным колебаниям лигнина, валентным колебаниям C-O связи третичной спиртовой группы целлюлозы. Интенсивность данной полосы при модифицировании не изменяется.

Интересно отметить, что на ИК-спектрах исходной и модифицированной древесины сосны выражен пик в области 1033–1028 см^{-1} , который соотносят с валентными колебаниями C-O связи первичной спиртовой группы целлюлозы в различных конформациях, C-O валентным колебаниям ксилана. Некоторое уменьшение этого пика на ИК-спектре модифицированного образца указывает на участие в модифицировании стерически более доступной первичной спиртовой группы целлюлозы.

Из литературы известно, что целлюлоза является наименее реакционноспособным компонентом древесного композита [1, 2, 11]. Чем выше значения удельной поверхности древесины (больше ее пористость), тем больше OH-групп стерически доступно для модифицирования. Пористый объем древесины определяет ее плотность. Чем она выше, тем ниже плотность древесины (средняя плотность древесины сосны – 0.52 $\text{г}/\text{см}^3$, березы – 0.65 $\text{г}/\text{см}^3$, дуба – 0.69 $\text{г}/\text{см}^3$). Так, древесина сосны имеет простое пористое строение (поры трахеид занимают 67.5% объема древесины). Древесина березы характеризуется более сложным строением, мелкие сосуды располагаются равномерно или собраны в небольшие радиальные группы по два-три (сосуды занимают 24.5% объема древесины). Дуб имеет пористую структуру с ярко выраженными крупными сосудами, мелкие сосуды занимают 10.9% объема древесины, крупные – 7.6% [21]. Вероятно, пористое строение древесины сосны определяет доступность первичных спиртовых групп целлюлозы для модифицирования.

В области 897–659 см^{-1} наблюдается широкое размытое поглощение, на фоне которого проявляются несколько полос поглощения.

Полоса аморфности (897–894 см^{-1}), характеризующая асимметричное колебание кольца в противофазе и колебание атомов C^1 и четырех окружающих его атомов в спектрах β -гликозидных структур целлюлозы, C^1 -колебания или колебания кольца ксилана (897–894 см^{-1}). Если при химическом модифицировании структура материала частично разрушается, происходит усиление данной полосы. Интенсивность полосы поглощения в указанном диапазоне частот при модифицировании не увеличивается.

Около 835–809 см^{-1} проявляются C-H-внеплоскостные деформационные колебания сиригильного и гваяцильного кольца лигнина. В гваяцильных соединениях эта полоса смещена в низкочастотную область.

Широкая полоса 664–659 см^{-1} соответствует внеплоскостным деформационным колебаниям гидроксильных групп целлюлозы и ксилана. В спектрах модифицированных образцов лиственных пород наблюдается понижение интенсивности данной полосы.

Выводы

Результаты проведенного спектроскопического исследования показали, что моноэтаноламин(N→B)тригидроксиборат при комнатной температуре взаимодействует с гидроксильными группами целлюлозы и с C=O-группами лигнина и гемицеллюлоз; при модифицировании древесины березы и дуба моноэтаноламин(N→B)тригидроксиборат преимущественно взаимодействует с с C=O-группами лигнина и гемицеллюлоз; образуемые химические связи гидролитически устойчивые.

Показано, что при модифицировании моноэтаноламин(N→B)-тригидроксиборатом не происходит разрушения ароматических колец лигнина и основных цепей макромолекул целлюлозы, т.е. модифицирование происходит в «мягких» условиях.

Разные плотность, прививка и поверхностное распределение иммобилизованных молекул модификатора позволяют ожидать, что свойства древесины различных пород, обусловленные модифицированием (изменение удельной поверхности, водопоглощения, набухания, биостойкости, огнестойкости), будут проявляться в разной степени, и защитные составы должны быть рекомендованы для модифицирования древесины конкретных пород.

Список литературы

1. Котенева И.В. Боразотные модификаторы поверхности для защиты древесины строительных конструкций. М., 2011. 191 с.

2. Покровская Е.Н. Сохранение памятников деревянного зодчества с помощью элементарноорганических соединений. М., 2009. 136 с.
3. Котлярова И.А., Степина И.В. Влияние моноэтаноламин(N→В)тригидроксидбората на кинетику набухания древесины различных пород // Вестник технологического университета. 2018. №6. С. 87–92.
4. Базарнова Н.Г., Карпова Е.В., Катраков И.Б. Методы исследования древесины и ее производных. Барнаул, 2002. 160 с.
5. Стородубцева Т.Н., Никулин С.С., Губин А.С. Защитная обработка древесины глиоксалем // Лесотехнический журнал. 2017. №2. С. 148–154.
6. Коринова В.Ю., Базарнова Н.Г., Ольхов Ю.А. Влияние щелочной обработки на изменение структуры древесины // Химия растительного сырья. 2003. №4. С. 17–24.
7. Хвиюзов С.С., Боголицын К.Г., Гусакова М.А., Зубов И.Н. Оценка содержания лигнина в древесине методом ИК-Фурье-спектроскопии // Фундаментальные исследования. 2015. №9–1. С. 87–90.
8. Derkacheva O., Sukhov D. Investigation of lignins by FTIR spectroscopy // Macromolecular Symposia. 2008. Vol. 265. N1. Pp. 61–68.
9. Lin S.Y., Dence C.W. Methods in Lignin Chemistry. Berlin: Springer-Verlag, 1992. 578 p.
10. Базарнова Н.Г., Коринова В.Ю. Метилирование древесины осины диметилсульфатом // Химия растительного сырья. 2000. №4. С. 103–104.
11. Фенгель Д., Вегенер Г. Древесина (химия, ультраструктура, реакции). М., 1988. 512 с.
12. Иванов-Омский В.И., Герасюта С.М., Иванова Е.И. ИК-спектроскопия водородной связи в древесной ткани ели обыкновенной // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2017. №218. С. 199–210.
13. Мамлеева Н.А., Аутлов С.А., Базарнова Н.Г., Лунин В.В. Превращения полисахаридов и лигнина в древесине при озонировании // Химия растительного сырья. 2015. №4. С. 5–13.
14. Казицына Л.А., Куплетская Н.Б. Применение УФ-, ИК- и ЯМР-спектроскопии в органической химии. М., 1971. 264 с.
15. Романчук Н.И., Грехова И.В. Использование метода ИК-спектроскопии в исследованиях структуры модифицированного лигнина // Аграрный вестник Урала. 2008. №6(48). С. 40–42.
16. Карпова Е.В., Базарнова Н.Г., Маматюк В.И. Определение содержания карбоксиметильных групп в карбоксиметилированной древесине методом ИК-спектроскопии // Химия растительного сырья. 2002. №2. С. 33–38.
17. Киреев В.В. Высокомолекулярные соединения. М., 2013. 602 с.
18. Алекперов Э.Р., Резник А.М. Комплексы бора: синтез, применение. М., 2000. 208 с.
19. Тютюкова Е.А., Лоскутов С.Р., Шестаков Н.П. ИК-спектроскопия древесины индивидуальных годовичных слоев // Хвойные бореальные леса. 2017. Т. XXXV. №3–4. С. 61–67.
20. Накамото К. ИК-спектры и спектры КР неорганических и координационных соединений. М., 1991. 536 с.
21. Неделина Н.Ю. Пористость и базисная плотность древесины разных типов // Научный журнал КубГАУ (электронный журнал). 2013. №89. URL: <http://ej.kubagro.ru/2013/05/pdf/03.pdf>

Поступила в редакцию 14 ноября 2018 г.

После переработки 21 декабря 2018 г.

Принята к публикации 24 января 2019 г.

Для цитирования: Котлярова И.А. ИК-спектроскопия древесины сосны, березы и дуба, модифицированной моноэтаноламин(N→В)тригидроксидборатом // Химия растительного сырья. 2019. №2. С. 43–49. DOI: 10.14258/jcrpm.2019024609.

Kotlyarova I.A. INFRARED SPECTROSCOPY OF WOOD OF PINE, BIRCH AND OAK, MODIFIED WITH MONOETHANOLAMINE(N→B)THREEHYDROXYBORATE

Bryansk State Technical University, Boulevard 50 let Oktyabrya, 7, Bryansk, 241035 (Russia),
e-mail: iakotlyarova@list.ru

The article presents the results of IR-spectroscopic study of wood of pine, birch and oak, modified with 50% aqueous solution of monoethanolamine(N→B)threehydroxyborate. IR spectra of the samples of birch and oak, modified by monoethanolamine(N→B)threehydroxyborate have been obtained for the first time. It was found that the modifier chemically interacts at room temperature with the reactive groups of the tree species under study; the chemical bonds being formed are hydrolytically stable. It is revealed that the change in the supramolecular structure of the modified wood is associated with a change in the system of hydrogen bonds. It is shown that in the case of modifying with monoethanolamine(N→B)threehydroxyborate, there is no destruction of the aromatic rings of lignin, and the main chains of the macromolecules of cellulose, i.e. modifying is in "soft" conditions. It was found that the modifier interacts with the primary hydroxyl groups of cellulose and carboxyl groups of lignin in the modification of pine wood; when modifying, the wood of birch and oak monoethanolamine(N→B)threehydroxyborate mainly interacts with the carboxyl groups of lignin. The density of the grafting modifier depends on the availability of reactive groups of wood composite, and it decreases with increasing the density of wood. Taking into account that surface grafted compounds determine many properties of wood (specific surface area, water absorption, swelling, bio- and fire-resistance), different grafting density and surface distribution of grafted molecules of modifiers on the surface of wood samples under study will lead to differences in the listed properties of the modified wood materials.

Keywords: wood, modification, monoethanolamine(N→B)threehydroxyborate, cellulose, lignin.

References

1. Koteneva I.V. *Borazotnyye modifikatory poverkhnosti dlya zashchity drevesiny stroitel'nykh konstruksiy*. [Boronotnyye surface modifiers for the protection of wood building structures]. Moscow, 2011, 191 p. (in Russ.).
2. Pokrovskaya Ye.N. *Sokhraneniye pamyatnikov derevyannogo zodchestva s pomoshch'yu elementorganicheskikh soyedineniy*. [Preservation of monuments of wooden architecture with the help of organo-organic compounds]. Moscow, 2009, 136 p. (in Russ.).
3. Kotlyarova I.A., Stepina I.V. *Vestnik tekhnologicheskogo universiteta*, 2018, no. 6, pp. 87–92. (in Russ.).
4. Bazarnova N.G., Karpova Ye.V., Katrakov I.B. *Metody issledovaniya drevesiny i yeye proizvodnykh*. [Methods for studying wood and its derivatives]. Barnaul, 2002, 160 p. (in Russ.).
5. Storodubtseva T.N., Nikulin S.S., Gubin A.S. *Lesotekhnicheskii zhurnal*, 2017, no. 2, pp. 148–154. (in Russ.).
6. Korinova V.Yu., Bazarnova N.G., Ol'khov Yu.A. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya*, 2003, no. 4, pp. 17–24. (in Russ.).
7. Khviyuzov S.S., Bogolitsyn K.G., Gusakova M.A., Zubov I.N. *Fundamental'nyye issledovaniya*, 2015, no. 9–1, pp. 87–90. (in Russ.).
8. Derkacheva O., Sukhov D. *Macromolecular Symposia*, 2008, vol. 265, no. 1, pp. 61–68.
9. Lin S.Y., Dence C.W. *Methods in Lignin Chemistry*, Berlin: Springer-Verlag, 1992, 578 p.
10. Bazarnova N.G., Korinova V.Yu. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya*, 2000, no. 4, pp. 103–104. (in Russ.).
11. Fengel' D., Vegener G. *Drevesina (khimiya, ul'trastruktura, reaktsii)*. [Wood (chemistry, ultrastructure, reactions)]. Moscow, 1988, 512 p. (in Russ.).
12. Ivanov-Omskiy V.I., Gerasyuta S.M., Ivanova Ye.I. *Izvestiya Sankt-Peterburgskoy lesotekhnicheskoy akademii*, 2017, no. 218, pp. 199–210. (in Russ.).
13. Mamleyeva N.A., Autlov S.A., Bazarnova N.G., Lunin V.V. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya*, 2015, no. 4, pp. 5–13. (in Russ.).
14. Kazitsyna L.A., Kupletskaya N.B. *Primeneniye UF-, IK- i YaMR-spektroskopii v organicheskoy khimii*. [The use of UV, IR and NMR spectroscopy in organic chemistry.]. Moscow, 1971, 264 p. (in Russ.).
15. Romanchuk N.I., Grekhova I.V. *Agrarnyy vestnik Urala*, 2008, no. 6(48), pp. 40–42. (in Russ.).
16. Karpova Ye.V., Bazarnova N.G., Mamatyuk V.I. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya*, 2002, no. 2, pp. 33–38. (in Russ.).
17. Kireyev V.V. *Vysokomolekulyarnyye soyedineniya*. [High molecular weight compounds]. Moscow, 2013, 602 p. (in Russ.).
18. Alekperov E.R., Reznik A.M. *Kompleksy bora: sintez, primeneniye*. [Boron complexes: synthesis, application]. Moscow, 2000, 208 p. (in Russ.).
19. Tyut'kova Ye.A., Loskutov S.R., Shestakov N.P. *Khvoynyye boreal'nyye lesa*, 2017, vol. XXXV, no. 3–4, pp. 61–67. (in Russ.).
20. Nakamoto K. *IK-spektry i spektry KR neorganicheskikh i koordinatsionnykh soyedineniy*. [IR spectra and Raman spectra of inorganic and coordination compounds]. Moscow, 1991, 536 p. (in Russ.).
21. Nedelina N.Yu. *Nauchnyy zhurnal KubGAU*, 2013, no. 89, URL: <http://ej.kubagro.ru/2013/05/pdf/03.pdf> (in Russ.).

Received November 14, 2018

Revised December 21, 2018

Accepted January 24, 2019

For citing: Kotlyarova I.A. *Khimiya Rastitel'nogo Syr'ya*, 2019, no. 2, pp. 43–49. (in Russ.).
DOI: 10.14258/jcprm.2019024609.

