

Научная статья
УДК 543.42+674.038

ИК-СПЕКТРОСКОПИЯ КАК ИНСТРУМЕНТ ДЛЯ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ МОДИФИКАЦИИ ДРЕВЕСНЫХ ОПИЛОК

Татьяна Ивановна Маслакова¹, Полина Вадимовна Подкорытова²,
Инна Геннадьевна Первова³

¹⁻³ Уральский государственный лесотехнический университет,
Екатеринбург, Россия

¹ maslakovati@m.usfeu.ru

² crash3592@yandex.ru

³ pervovaig@m.usfeu.ru

Аннотация. В статье представлен обзор характеристичных полос поглощения в ИК-спектрах древесных опилок до и после их модификации различными химическими реагентами. По положению, сдвигу и относительной интенсивности полос в ИК-спектрах можно идентифицировать состав и количество функциональных групп, определяющих сорбционные свойства сорбентов на основе древесных опилок.

Ключевые слова: ИК-спектроскопия, древесные опилки, функциональные группы, модификация

Для цитирования: Маслакова Т. И., Подкорытова П. В., Первова И. Г. ИК-спектроскопия как инструмент для оценки эффективности модификаций древесных опилок // Эффективный ответ на современные вызовы с учетом взаимодействия человека и природы, человека и технологий = Effective reaction to modern challenges of the interaction between human and nature, human and technologies : материалы XVII Международной научно-технической конференции. Екатеринбург : УГЛТУ, 2026. С. 465–470.

Original article

IR SPECTROSCOPY AS A TOOL FOR ASSESSING THE EFFICIENCY OF SAWDUST MODIFICATION

Tatiana I. Maslakova¹, Polina V. Podkorytova², Inna G. Pervova³

¹⁻³ Ural State Forest Engineering University, Ekaterinburg, Russia

¹ maslakovati@m.usfeu.ru

² crash3592@yandex.ru

³ pervovaig@m.usfeu.ru

Abstract. The article presents an overview of the characteristic absorption bands in the IR spectra of sawdust before and after their modification by various chemical reagents. The position, shift, and relative intensity of bands in the IR spectra can be used to identify the composition and number of functional groups that determine the sorption properties of sawdust-based sorbents.

Keywords: IR spectroscopy, sawdust, functional groups, modification

For citation: Maslakova T. I., Podkorytova P. V., Pervova I. G. (2026) ИК-спектроскопија как инструмент дјла оценки јефективности модификациј дресних опилок. [IR spectroscopy as a tool for assessing the efficiency of sawdust modification]. *Effektivnyi otvet na sovremennye vyzovy s uchetom vzaimodeistviya cheloveka i prirody, cheloveka i tekhnologii* [Effective reaction to modern challenges of the interaction between human and nature, human and technologies : materials of the XVII International Scientific and Technical Conference]. Ekaterinburg : USFEU, 2025. P. 465–470. (In Russ).

Инфракрасная спектроскопия (ИК) является одним из наиболее часто применяемых физико-химических методов анализа объектов природного и техногенного происхождения. При пропускании инфракрасного излучения через вещество происходит возбуждение колебательных движений функциональных групп в молекуле, что сопровождается появлением поглощения на характеристичных данному веществу частотах [1]. Регистрируемый спектр содержит ряд полос поглощения, по положению и относительной интенсивности которых делается вывод о строении изучаемого образца.

ИК-спектроскопия является эффективным аналитическим методом для исследования структуры и природы древесины, ее качественного и количественного анализа благодаря способности метода предоставлять информацию о количестве функциональных групп и других специфических структурных особенностях. Однако 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. Современное представление о древесинном веществе сводится к тому, что это полимерная композиция, состоящая из целлюлозной арматуры и аморфной лигнино-углеводной матрицы. В связи с чем интерпретация ИК-спектров древесины значительно усложняется.

Особенно востребовано ИК-спектроскопическое исследование в сфере получения углеродных сорбентов на основе древесных опилок. Состав функциональных групп на поверхности таких сорбентов обуславливает их физико-химические и сорбционные характеристики, а, следовательно, их применение в процессах извлечения веществ и соединений из водных сред.

Однако опилки нативной (природной) древесины в большинстве случаев не могут полностью удовлетворить техническим требованиям, предъявляемым к фильтрующим материалам, поэтому необходима их химическая модификация с помощью различных реагентов, позволяющая придать определенные характеристики или улучшить уже имеющиеся. При поверхностном модифицировании древесины изменяется химический состав за счет трансформации функциональных групп, влияя на сорбционные свойства и селективность при извлечении токсикантов из воды.

В научной литературе представлен достаточно обширный объем сведений по применению ИК-спектроскопии для идентификации функциональных изменений в древесных опилках в результате химической обработки, однако у исследователей до сих пор возникает проблема, как провести оценку именно эффективности модификации образцов. Целью данной статьи является анализ вклада ИК-спектроскопии в установление структурных изменений поверхности опилок при воздействии на них модифицирующих реагентов.

Наиболее популярным для модификации опилок органическим реагентом является лимонная кислота. Так, в работе [2] авторы основное внимание обращают на образцы белой сосны, обработанные именно лимонной кислотой, и отмечают, что в ИК-спектрах модифицированных образцов отмечено значительное увеличение интенсивности полос карбоксильных групп при 1720 см^{-1} ($\nu_{\text{C=O}}$), а также при 3336 см^{-1} ($\nu_{\text{O-H}}$), 2896 см^{-1} ($\nu_{\text{C-H}}$) и 1030 см^{-1} ($\nu_{\text{C-O}}$). В исследовании [3] в ИК-спектрах опилок красной сосны после обработки лимонной кислотой также отмечено увеличение интенсивности полос поглощения $-\text{OH}$ и COO^- карбоксильных групп, закрепленных на поверхности опилок в результате реакции этерификации с лимонной кислотой. Факт этерификации, как указано в работе [4], подчеркивается характерными различиями исследуемых образцов опилок, а именно наличием полос поглощения при 1740 см^{-1} и 1425 см^{-1} , относящихся к группе COOH . Согласно полученным результатам, авторы заключили, что измененный химический состав поверхности модифицированных лимонной кислотой опилок красной сосны позволит осуществлять адсорбцию ионов металлов.

Не вызывают вопросов регистрируемые валентные колебания при 1720 см^{-1} и 1730 см^{-1} , их относят [2, 5] к связи C=O в карбоксильной группе. В этой же области авторы [3, 6] регистрировали максимумы поглощения при 1742 см^{-1} и 1728 см^{-1} . Кроме того, к карбоксильным группам относят и другие валентные колебания, такие как 1030 см^{-1} , 1247 см^{-1} , 1422 см^{-1} [2, 7, 8]. Связи O-H и C-H в карбоксильной группе указаны только в работе [2], а именно в области 3336 см^{-1} и 2896 см^{-1} , соответственно. В исследованиях [5, 7] наличие карбонильной группы отслеживается в виде кетонной (1695 см^{-1} и 1654 см^{-1}) и альдегидной (1650 см^{-1} и 1733 см^{-1}) связи, хотя модификация проводилась разными по

составу реагентами (гексадецилтриметиламмоний бромидом (НДТМА-Br) и лимонной кислотой).

Подробный анализ ИК-спектров сосновых опилок, модифицированных малеиновой кислотой, и опилок, обогащенных ионами Cd(II), представлен в исследовании [8]. Авторами выявлено, что модификация опилок привела к уменьшению интенсивности валентных колебаний гидроксигрупп ($\nu_{OH} = 3322 \text{ см}^{-1}$) и увеличению интенсивности полосы поглощения $=C-O$ (1247 см^{-1}). Для образца, обработанного солью кадмия, наблюдается уменьшение максимумов, связанных с появлением широкой полосы поглощения в области валентных колебаний O-H и C-O. Полоса при 1634 см^{-1} отнесена к C=O связи сложноэфирной группы [8].

Удивляет отнесение полосы с частотой 1250 см^{-1} к поглощению сульфатной группы S=O [5]. Очевидно данная полоса свидетельствует скорее о появлении в ИК-спектрах поглощения $=C-O$ групп, образованных в результате обработки опилок серной кислотой. Однозначно отнести данное поглощение к поглощению сульфатной группы можно, изучив зависимость увеличения интенсивности данного поглощения от увеличения концентрации серной кислоты или продолжительности обработки образцов.

Стоит отметить исследование [9] с точки зрения наглядности предоставления информации в виде таблицы для идентификации полос поглощения в образцах древесных опилок, хотя и без отнесения полос к конкретным функциональным группам. Кроме того, авторы предполагают, что при последовательной модификации опилок метилатом натрия, эпихлоргидрином и додециламином в среде диметилсульфоксида происходит 100 %-ная трансформация оксиранового фрагмента, которому принадлежат максимумы поглощения при 954 см^{-1} и 821 см^{-1} .

Таким образом, метод ИК-спектроскопии представляется перспективным для сравнительного исследования модифицированных образцов древесных опилок, однако требуются дополнительные исследования по оценке степени химического преобразования и характера протекающих структурных изменений в результате химической обработки в основных компонентах древесины: лигнине, целлюлозе и гемицеллюлозе.

Список источников

1. Наканиси К. Инфракрасные спектры и строение органических соединений. М. : Мир, 1965. 220 с.
2. Salazar-Rabago J. J., Leyva-Ramos R. Novel biosorbent with high adsorption capacity prepared by chemical modification of white pine (*Pinus durangensis*) sawdust. Adsorption of Pb(II) from aqueous solutions // Journal of

Environmental Management. 2016. Vol. 169. P. 303–312. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2015.12.040>.

3. Ulfa S. M., Chamidah N., Kurniawan A. Adsorption of Cu(II) in aqueous solution by modified sawdust cellulose // IOP Conference Series Earth and Environmental Science. 2019. Vol. 239. Article 012008. DOI 10.1088/1755-1315/239/1/012008.

4. Zhang R., Zhou Y., Gu X., Lu J. Competitive adsorption of Methylene Blue and Cu²⁺ onto citric acid modified pine sawdust // CLEAN. Soil Air Water. 2015. Vol. 43. Issue 1. P. 96–103. <https://doi.org/10.1002/clen.201300818>.

5. Functionalized sawdust-derived cellulose nanocrystalline adsorbent for efficient removal of vanadium from aqueous solution / B. Zulu, O. A. Oyewo, B. Sithole [et al.] // Frontiers in Environmental Science. 2020. Vol. 8. Article 56. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2020.00056>.

6. Activated *Ailanthus altissima* sawdust as adsorbent for removal of acid Yellow 29 from wastewater: kinetics approach / N. Rahman, I. Ullah, S. Alam [et al.] // Water. 2021. Vol. 13. Article 2136. <https://doi.org/10.3390/w13152136>.

7. Characterization of modified sawdust, kinetic and equilibrium study about Methylene Blue adsorption in batch mode / W. Zou, H. Bai, S. Gao, K. Li // Korean Journal of Chemical Engineering. 2013. Vol. 30(1). P. 111–122. DOI: 10.1007/s11814-012-0096-y.

8. Non-linear adsorption characteristics of modified pine wood sawdust optimised for adsorption of Cd(II) from aqueous systems / A. Hashem, S. M. Badawy, S. Farag [et al.] // Journal of Environmental Chemical Engineering. 2020. Vol. 8. Issue 4. Article 103966. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2020.103966>.

9. Modification and application of *Albizia lebbeck* sawdust for the sorption of lead(II) and copper(II) from aqueous solutions / S. Bhowmik, M. S. Rahman, T. R. Choudhury [et al.] // Oriental Journal of Chemistry. 2020. Vol. 36, № 04. P. 591–600. <http://dx.doi.org/10.13005/ojc/360401>

References

1. Nakanishi K. Infrared spectra and structure of organic compounds. M. : World, 1965. 220 p.

2. Salazar-Rabago J. J., Leyva-Ramos R. Novel biosorbent with high adsorption capacity prepared by chemical modification of white pine (*Pinus durangensis*) sawdust. Adsorption of Pb(II) from aqueous solutions // Journal of Environmental Management. 2016. Vol. 169. P. 303–312. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2015.12.040>.

3. Ulfa S. M., Chamidah N., Kurniawan A. Adsorption of Cu(II) in aqueous solution by modified sawdust cellulose // IOP Conference Series Earth and Environmental Science. 2019. Vol. 239. Article 012008. DOI 10.1088/1755-1315/239/1/012008.

4. Zhang R., Zhou Y., Gu X., Lu J. Competitive adsorption of Methylene Blue and Cu^{2+} onto citric acid modified pine sawdust // CLEAN. Soil Air Water. 2015. Vol. 43. Issue 1. P. 96–103. <https://doi.org/10.1002/clen.201300818>.

5. Functionalized sawdust-derived cellulose nanocrystalline adsorbent for efficient removal of vanadium from aqueous solution / B. Zulu, O. A. Oyewo, B. Sithole [et al.] // Frontiers in Environmental Science. 2020. Vol. 8. Article 56. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2020.00056>.

6. Activated *Ailanthus altissima* sawdust as adsorbent for removal of acid Yellow 29 from wastewater: kinetics approach / N. Rahman, I. Ullah, S. Alam [et al.] // Water. 2021. Vol. 13. Article 2136. <https://doi.org/10.3390/w13152136>.

7. Characterization of modified sawdust, kinetic and equilibrium study about Methylene Blue adsorption in batch mode / W. Zou, H. Bai, S. Gao, K. Li // Korean Journal of Chemical Engineering. 2013. Vol. 30(1). P. 111–122. DOI: 10.1007/s11814-012-0096-y.

8. Non-linear adsorption characteristics of modified pine wood sawdust optimised for adsorption of Cd(II) from aqueous systems / A. Hashem, S. M. Badawy, S. Farag [et al.] // Journal of Environmental Chemical Engineering. 2020. Vol. 8. Issue 4. Article 103966. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2020.103966>.

9. Modification and application of *Albizia lebbek* sawdust for the sorption of lead(II) and copper(II) from aqueous solutions / S. Bhowmik, M. S. Rahman, T. R. Choudhury [et al.] // Oriental Journal of Chemistry. 2020. Vol. 36, № 04. P. 591–600. <http://dx.doi.org/10.13005/ojc/360401>