

УДК 54.022

<https://doi.org/10.21869/2223-1528-2023-13-3-224-240>



## Определение физико-химических и адсорбционно-структурных параметров древесных опилок и их различных модификаций на структурном уровне

А. В. Лысенко<sup>1</sup> ✉, К. А. Левина<sup>1</sup>, К. Ф. Янкив<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Юго-Западный государственный университет  
ул. 50 лет Октября, д. 94, г. Курск 305040, Российская Федерация

✉ e-mail: ginger313@mail.ru

### Резюме

**Целью** настоящей работы являлось определение некоторых физико-химических и адсорбционно-структурных параметров древесных опилок и их модифицированных аналогов.

**Методы.** Для определения физико-химических и адсорбционно-структурных параметров древесных опилок и их различных модификаций были использованы гравиметрические, потенциометрические, титриметрические методы анализа.

Для исследования структуры древесных опилок применяли ИК-Фурье-спектрометр Nicolet iS50 и микроскоп OmegaScore™-СЗМ с конфокальным рамановским и флуоресцентным спектрометром.

Создание молекулярных структурных формул проводилось в интегрированном пакете программных средств ChemOffice в ChemDraw 3D.

**Результаты.** Полученные данные показали, что сорбционная способность древесных опилок зависит от вида модификации и от изменений, произошедших на молекулярном уровне. Наибольшие изменения произошли с типом модификации гидроксида натрия, отмечено наибольшее образование гидроксильных и карбоксильных групп. Результаты ИК-спектрометрии говорят о том, что изменения в структуре модифицированных сорбентов свидетельствуют о возможном улучшении древесных опилок к способности сорбировать, в том числе и прямые красители.

Для определения физико-химических параметров древесных опилок и их различных модификаций были исследованы такие характеристики, как: влажность, рН среды, скорости оседания, набухание, пористость, насыпная плотность.

Осуществлено определение осветляющей способности и адсорбционной активности древесных опилок различных модификаций по метиленовому голубому. Все образцы древесных опилок проявляют сорбционные свойства, могут сорбировать молекулы размером от 0,63 до 1,26 нм.

Определили адсорбционную активность по йоду, характеризующую йодным числом и адсорбционной активностью. Адсорбционная активность по йоду отличается в значительных пределах (5,874–13,494), что обусловлено различным механизмом сорбции на различных модификациях целлюлозного сорбента.

---

© Лысенко А. В., Левина К. А., Янкив К. Ф., 2023

**Заключение.** В данной работе подтверждено, что модифицирование древесных опилок веществами, имеющими кислую и щелочную среду, положительно влияет на степень сорбции сорбента. Наивысшей сорбционной способностью обладают древесные опилки, модифицированные 1% и 5% NaOH.

С помощью ИК-спектроскопии доказано, что в процессе модификации в сорбентах происходят изменения на структурном уровне.

**Ключевые слова:** сорбент; модификация, влажность; pH среды; скорость оседания; набухание; пористость; насыпная плотность; осветляющая способность.

**Конфликт интересов:** Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

**Для цитирования:** Лысенко А. В., Левина К. А., Янкив К. Ф. Определение физико-химических и адсорбционно-структурных параметров древесных опилок и их различных модификаций на структурном уровне // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Техника и технологии. 2023. Т. 13, № 3. С. 224–240. <https://doi.org/10.21869/2223-1528-2023-13-3-224-240>

Поступила в редакцию 28.07.2023

Подписана в печать 30.08.2023

Опубликована 29.09.2023

## Determination of Physico-Chemical and Adsorption-Structural Parameters of Sawdust and Their Various Modifications at the Structural Level

Anna V. Lysenko<sup>1</sup> ✉, Kristina A. Levina<sup>1</sup>, Karine F. Yankiv<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Southwest State University  
50 Let Oktyabrya Str. 94, Kursk 305040, Russian Federation

✉ e-mail: ginger313@mail.ru

### Abstract

**The purpose** of this work was to determine some physicochemical and adsorption-structural parameters of sawdust and their modified analogues.

**Methods.** To determine the physicochemical and adsorption-structural parameters of sawdust and their various modifications, gravimetric, potentiometric, titrimetric methods of analysis were studied.

To study the structure of sawdust, a Nicolet iS50 IR Fourier spectrometer and an OmegaScope™-SPM microscope with a confocal Raman and fluorescence spectrometer were used.

The creation of molecular structural formulas was carried out in the integrated ChemOffice software package in ChemDraw 3D.

**Results.** The data obtained showed that the sorption capacity of sawdust depends on the type of modification and on changes that have occurred at the molecular level. The greatest changes occurred with the type of modification of sodium hydroxide, the greatest formation of hydroxyl and carboxyl groups was noted.

The results of IR spectrometry indicate that changes in the structure of the modified sorbents indicate a possible improvement in the ability of sawdust to sorb, including direct dyes.

To determine the physicochemical parameters of sawdust and their various modifications, such characteristics as humidity, pH of the medium, settling rates, swelling, porosity, and bulk density were studied.

The determination of the clarifying ability and adsorption activity of sawdust of various modifications was carried out using methylene blue. All samples of sawdust exhibit sorption properties, they can adsorb molecules ranging in size from 0.63 to 1.26 nm.

Determined adsorption activity for iodine, characterized by iodine number and adsorption activity. The adsorption activity for iodine differs significantly (5.874–13.494), which is due to the different mechanism of sorption on various modifications of the cellulose sorbent

**Conclusion.** In this work, it is confirmed that the modification of sawdust with substances having an acidic and alkaline environment will positively affect the degree of sorption of the sorbent. Sawdust modified with 1% and 5% NaOH has the highest sorption capacity.

With the help of IR spectroscopy, it has been proved that in the process of modification, changes occur in the sorbents at the structural level.

**Keywords:** sorbent; modification; humidity; pH of the medium; settling rate; swelling; porosity; bulk density; brightening ability

**Conflict of interest:** The authors declares the absence of obvious and potential conflicts of interest related to the publication of this article.

**For citation:** Lysenko A. V., Levina K. A., Yankiv K. F. Determination of Physico-Chemical and Adsorption-Structural Parameters of Sawdust and Their Various Modifications at the Structural Level. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Tekhnika i tekhnologii = Proceedings of the Southwest State University. Series: Engineering and Technologies*. 2023; 13(3): 224–240. (In Russ.) <https://doi.org/10.21869/2223-1528-2023-13-3-224-240>

Received 28.07.2023

Accepted 30.08.2023

Published 29.09.2023

\*\*\*

## Введение

Загрязнение Мирового океана и утилизация отходов производства являются насущной проблемой и требуют глобального решения. Большое количество ученых, передовых общественных деятелей, лидеров стран занимаются поиском решения данных экологических проблем. Создаются организации по защите окружающей среды, законодательно принимаются санкции за загрязнение Мирового океана и выброс отходов на непредназначенные для этого места. Однако это не решает основной проблемы – утилизации отходов производства и очищения уже загрязненных вод Мирового океана [1].

Главной причиной упадка и оскудения природных водных бассейнов Земли является антропогенное загрязнение. Его основными источниками являются сточные воды предприятий различных сфер промышленности, сбрасываемые в огромных количествах в Мировой океан. Поскольку в состав сточных вод входит значительное количество органических красителей, загрязненные воды оказывают высокотоксичное воздействие на окружающую среду, проявляя мутагенные, канцерогенные, аллергические свойства красителей, таким образом поражая животный и растительный мир, ухудшая

процесс нормализации кислородного баланса и обмена веществ [2].

Одним из основных методов, способных очищать до минимального остаточного содержания органических красителей, является сорбция. Этому способу очистки присущи высокоэффективность, перспективность и управляемость процессом.

Основная цель исследования – рассмотрение основного пути развития и модернизации процесса сорбции – удешевление сорбента. Это достигается использованием дешевого и доступного материала. И тут вспомним о проблеме утилизации отходов производства.

Древесные опилки являются отходами деревообрабатывающих производств, которые отвечают основным требованиям удешевления процесса очистки сточных вод, таким образом, рациональное использование отходов производства позволит не только сэкономить на очистке водных объектов окружающей среды, но и решить основную глобальную проблему по утилизации отходов, поскольку использование древесины с каждым годом становится все больше [3].

Однако древесные опилки в чистом виде не всегда показывают высокую эффективность извлечения органических красителей из состава водных объектов.

Для улучшения процесса сорбции в работе предлагается модифицирование целлюлозного сырья различными веществами.

Как было исследовано в ранее опубликованных статьях, рН среды значительно влияет на степень сорбции прямых красителей [4; 5]. В зависимости от типа красителя кислая и щелочная среда проявляет более высокую сорбционную способность. Следовательно, модифицирование веществами, имеющими щелочную и кислую среду, может повысить качество очистки сточных вод. Данный вывод также был отмечен в статьях [6; 7]: модификация древесных опилок улучшает их свойства как сорбентов, вследствие этого повышает эффективность процесса извлечения. Целесообразно будет изучить влияние типа модификации на изменение структуры и физико-химических параметров по сравнению с исходными сорбентами.

Именно поэтому целью работы является исследование структуры древесных опилок и модифицированных аналогов и определение их физико-химических параметров как сорбентов.

## Материалы и методы

В работе предлагается применение в качестве сорбента производственных отходов деревообрабатывающей промышленности – древесные опилки листовых деревьев размером частиц от 3,25 до 4,25 мм. Модификацию проводили 1%-ным и 5%-ным водными растворами щавелевой кислоты  $C_2H_2O_4$  или гидроксида натрия NaOH при соотношении фаз  $m_{\text{сорбента}} : m_{\text{модификатора}}$  равном 1:15 при постоянном перемешивании в течение 1 часа. Данные реагенты были использованы из-за их дешевизны, масштабного производства, широкого спектра применения и отсутствия в литературных источниках данных об их применении в качестве модификатора по отношению к древесным опилкам.

Для определения физико-химических и адсорбционно-структурных параметров древесных опилок и их различных модификаций были исследованы такие характеристики, как: влажность, рН среды, скорости оседания, набухание, пористость, насыпная плотность, осветляющая способность по метиленовому голубому (МГ) и адсорбционная активность по йоду (ЙЧ, коэффициентом неопределенности).

Для анализа древесных опилок и их модификаций на структурном уровне применяли прибор ИК-Фурье-спектрометр Nicolet iS50. Измерение ИК-спектров проводили в диапазоне  $50\text{--}15000\text{ см}^{-1}$ .

Для оценки влияния структуры на сорбционные параметры по брутто-формулам были построены компьютерные модели молекул органических прямых красителей в программе Chem 3D.

Для исследования структуры древесных опилок применяли микроскоп OmegaScore™-СЗМ с конфокальным рамановским и флуоресцентным спектрометром. Исследование древесных опилок проводили при увеличении в 615 раз.

Определение содержания влаги исследуемых сорбентов проводили по стандартной методике [8]:

$$W = \frac{(m_1 - m_2) \cdot 100}{m}, \quad (1)$$

где  $m_1$  – масса бюкса с навеской сорбента до сушки, г;  $m_2$  – масса бюкса с навеской после сушки сорбента до постоянной массы, г;  $m$  – масса навески сорбента, г;  $W$  – влажность сорбента, %.

Набухание сорбентов представляет собой разницу удельных объемов набухшего и сухого веществ. Её определение проводили по стандартной методике и рассчитывали по формуле

$$A = \frac{W_1 - W_2}{W_1} \cdot 100\%, \quad (2)$$

где  $A$  – степень набухания сорбента, %;  $W_1$  – масса сорбента после испытания, г;  $W_2$  – масса сорбента до испытания, г.

Определение насыпной плотности древесного сорбента и его модифицированных аналогов проводили по стандартной методике и рассчитывали по формуле

$$\rho = \frac{m_2 - m_1}{V}, \quad (3)$$

где  $m_1$  – масса пустого сосуда, г;  $m_2$  – масса сосуда с пробой сорбента;  $V$  – объем сосуда, см<sup>3</sup>.

Определение осветляющей способности и адсорбционной активности древесных опилок различных модификаций осуществляли по метиленовому голубому (МГ). Взвешивали высушенную пробу 0,1 г, помещали в колбу на 50 см<sup>3</sup>, приливали из бюретки 10 см<sup>3</sup> раствора метиленового голубого (из ТУ 6-09-29-76, 0,15%-водный раствор) и взбалтывали в течение 5 мин [9]. После обесцвечивания первых 10 см<sup>3</sup> прибавляли метиленовый голубой по 1 см<sup>3</sup> до не исчезающего в течение 5 мин синего окрашивания раствора [10].

Показатель адсорбции рассчитывали по формуле [11]

$$A = \frac{C \cdot V}{m}, \quad (4)$$

где  $C$  – концентрация раствора метиленового голубого, %;  $V$  – объем метиленового голубого до появления устойчивого синего окрашивания, см<sup>3</sup>;  $m$  – масса навески древесных опилок, г.

Определение адсорбционной активности по йоду характеризуется йодным числом (ЙЧ) и адсорбционной активностью (X).

Взвешивали 2 г древесных опилок, помещали в колбу на 250 см<sup>3</sup>, добавляли 50 см<sup>3</sup> раствора йода в йодистом калии концентрацией 0,05 н., проводили сорбцию в течение 30 мин. Отбирали 10 см<sup>3</sup> раствора, помещали в коническую колбу и титровали 0,1 н. раствором тиосульфата натрия Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. В конце титрования добавляли раствор крахмала и титровали до исчезновения синей окраски. Для расчета адсорбирующей активности по йоду про-

вели определение начального содержания йода [10], отобрав из начального раствора йода в йодистом калии 10 см<sup>3</sup> и оттитровали раствором тиосульфата натрия, добавив раствор крахмала.

Йодное число вычисляется по следующей формуле:

$$\text{ЙЧ} = (V_k - V_0) \cdot 0,001269 \cdot m \cdot 100, \quad (5)$$

где  $V_k$ ,  $V_0$  – количество 0,1 н. раствора тиосульфата натрия, потраченного на титрование исходного и исследуемого образца, см<sup>3</sup>; 0,01269 – титр 0,1 н. раствора тиосульфата натрия, мг/см<sup>3</sup>;  $M$  – масса исследуемого образца, г; 100 – коэффициент пересчета на 100 г исследуемого образца.

Адсорбирующую активность древесных опилок по йоду рассчитывали по формуле

$$X = \frac{(V_1 - V_2) \cdot 0,0127 \cdot 100 \cdot 100}{10 \cdot m}, \quad (6)$$

где  $V_1$  – объем тиосульфата натрия, пошедшего на титрование йода до обработки опилками, см<sup>3</sup>;  $V_2$  – объем тиосульфата натрия, пошедшего на титрование йода после обработки опилками, см<sup>3</sup>;  $m$  – масса навески опилок, г.

Результаты анализов обрабатывались с помощью вычисления среднего арифметического значения с допустимым интервалом погрешности из трех выполненных экспериментов, используя программы MathCad, Excel.

## Результаты и их обсуждение

Полученные результаты исследования физико-химических параметров древесных опилок и их модифицированных аналогов представлены в таблице 1.

Влажность всех видов модификаций опилок соответствует нормам ГОСТ 18320-78. Наименьшее значение влажности отмечено у пробы исходных опилок, наивысший процент – модификация 5%-ным раствором NaOH.

**Таблица 1.** Физико-химические параметры древесных опилок и их модифицированных аналогов**Table 1.** Physical and chemical parameters of sawdust and their modified analogues

Наименование параметра	Исходные	1%-ный р-р NaOH	5%-ный р-р NaOH	1%-ный р-р C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	5%-ный р-р C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	Норма по ГОСТ
Влажность, %	8,5	14,4	15,3	11,7	12,3	5–16
pH среда	4,7	9,3	10,4	3,3	1,5	4,0–6,0
Скорость оседания, м/с	$2,35 \cdot 10^{-4}$	$3,74 \cdot 10^{-4}$	$1,05 \cdot 10^{-5}$	$7,63 \cdot 10^{-4}$	$2,88 \cdot 10^{-5}$	$8,7 \cdot 10^{-7}$ – $3,3 \cdot 10^{-3}$
Набухание, %	64	63	69	65	72	54–64
Насыпная плотность, кг/м <sup>3</sup>	727	754	678	779	632	150
Фракционный состав, мм	3,25–4,25	3,25–4,25	3,25–4,25	3,25–4,25	3,25–4,25	1,00–5,00
Пористость, %	67	71	78	75	83	60–86
Плотность, кг/дм <sup>3</sup>	1,21	1,57	1,69	1,46	1,51	1,53
Зольность, %	0,6	0,7	0,6	0,4	0,5	0,5

Значения pH среды опилок зависят от pH среды модификатора: исходные входят в нормы; обработанные щавелевой кислотой обладают кислой средой (pH = 1,5–3,3); обработанные гидроксидом натрия – основной средой (pH = 8,3–9,4).

Скорость оседания сорбента зависит от процентной концентрации модификаторов: чем больше концентрация, тем выше скорость оседания. Наибольшая скорость ( $2,88 \cdot 10^{-5}$ ) отмечена у модификации 5%-ным раствором C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>O<sub>4</sub>. Все значения скорости оседания опилок отвечают нормам ГОСТ 18320-78.

В процессе исследования способности сорбента к набуханию отмечено, что по сравнению с исходными (64%) опилками модификации 1%-ным и 5%-ным растворами C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>O<sub>4</sub> и 5%-ным раствором NaOH (65%, 72%, 69% соответственно) увеличили значения, но в то же время вышли за нормы верхней планки ГОСТ 18320-78. Это обусловлено увеличением их способности к поглощению растворенных веществ. Модификация 1%-ным рас-

твором NaOH показала понижение степени набухания (63%), но при этом данное значение входит в нормы ГОСТ 18320-78.

Значения параметра пористости также претерпели изменения в зависимости от модификации: наибольший процент отмечен у модификации 5%-ной щавелевой кислотой (83%), наименьший – у исходного сорбента (67%). Все значения пористости соответствуют нормам ГОСТ 18320-78.

Такие физико-химические параметры, как: насыпная плотность, фракционный состав, плотность, зольность, практически не зависят от вида модификации и не претерпевают значительных изменений. Все значения данных параметров отвечают нормам стандартов [12; 13].

При исследовании таких физико-химических параметров, как влажность, скорость оседания, значение pH-среды, способность к набуханию, пористость, зафиксированы изменения показателей в зависимости от вида модификации.

Таким образом, исследование физико-химических параметров древесных

опилок показало общую зависимость от вида модификации сорбента.

Следующим этапом изучения модификаций сорбента становится определение сорбционной активности и осветляющей способности.

**Таблица 2.** Результаты осветляющей способности по МГ для древесных опилок и их модифицированных аналогов

**Table 2.** The results of the clarifying ability by MB for sawdust and their modified analogues

Сорбент	$C_{исх}$ МГ, МГ/дм <sup>3</sup>	$m_{сорбента}$ , г	$V$ МГ, см <sup>3</sup>	Показатель адсорбции $A$	Емкость катионного обмена $E$ , МГ-экв/100 г
Исходный	0,0141	2,080	27,5	0,194	60,61
1%-ный NaOH	0,0141	2,000	25,0	0,176	55,10
5%-ный NaOH	0,0141	2,065	22,0	0,155	48,48
1%-ный C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	0,0141	2,070	33,0	0,233	72,73
5%-ный C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	0,0141	2,045	38,0	0,268	83,75

Как свидетельствуют результаты исследований, все образцы древесных опилок проявляют сорбционные свойства по отношению к метиленовому голубому.

Наименьшую емкость катионного обмена  $E$  показали образцы, модифицированные 1%-ным и 5%-ным растворами NaOH. По классификации поглотительной способности все виды модификаций сорбента относят к очень высоким (больше 40 мг-экв/100 г).

Показатели адсорбции всех модификаций больше нуля ( $A > 0$ ), что говорит о том, что краситель накапливается на поверхностном слое сорбента, а сорбенты содержат мезопоры, размеры которых колеблются в пределах от 1,5 до 50 нм. Таким образом, можно предположить, что в процессе модификации сорбентов могли произойти изменения опилок на структурном уровне.

Не менее важной сорбционной характеристикой является адсорбционная активность по йоду, которая указывает на способность сорбента поглощать вещества [14]. В таблице 3 представлены экспериментальные данные определения адсорбционной активности по йоду для древесных опилок и их модифицированных аналогов.

Далее были изучены осветляющая способность древесных опилок по МГ и получены экспериментальные данные, результаты которых представлены в таблице 2.

Адсорбционная активность древесных опилок  $X$  отличается в значительных пределах, что обусловлено различным механизмом сорбции на различных модификациях целлюлозного сорбента. Наивысшей сорбционной способностью по отношению к остальным образцам обладают древесные опилки, модифицированные 1%-ным и 5%-ным растворами NaOH. Данный вывод подтверждают и полученные данные по йодному числу. Наибольшее количество грамм йода потребуется для полного насыщения для опилок, модифицированных водными растворами NaOH. Вероятно, это связано с тем, что в структуре данных модификаций находится большое содержание ненасыщенных кислот, которые способствуют улучшению процесса сорбции.

Дальнейшим этапом изучения модификации сорбентов, исходя из полученных данных, является рассмотрение структуры древесных опилок и их аналогов. Поскольку в процессе модификации сорбент древесные опилки претерпели внешние изменения и отмечены различия в адсорбционной активности, то стоит предположить, что изменения произошли и на структурном уровне.

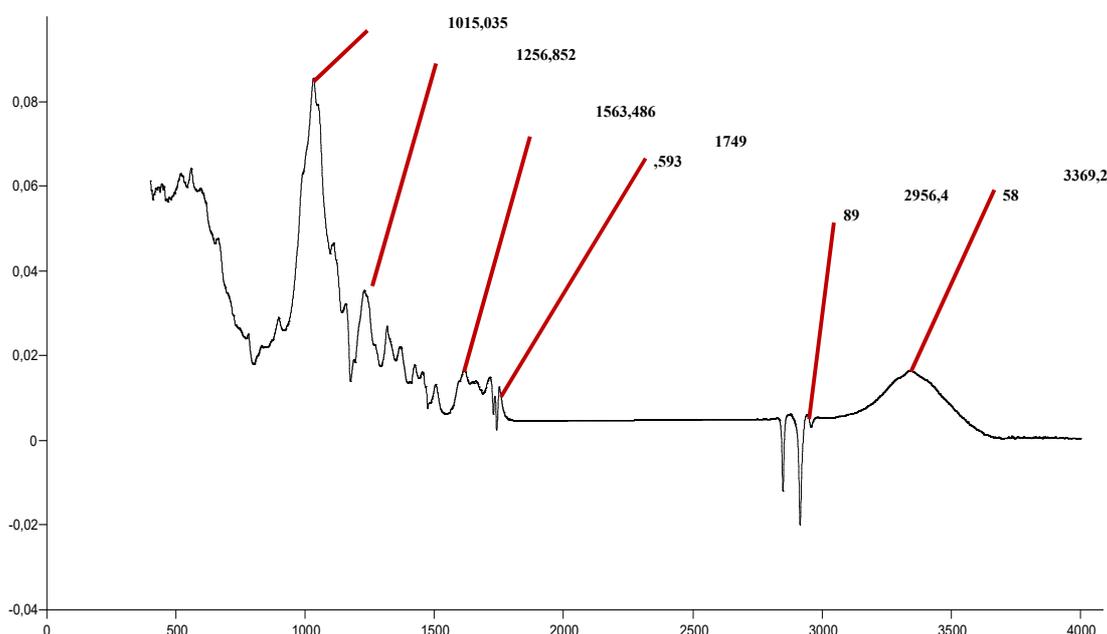
**Таблица 3.** Адсорбционная активность по йоду древесных опилок и их модифицированных аналогов**Table 3.** Iodine adsorption activity of sawdust and their modified analogues

Сорбент	$C_{исх} (I_2 \text{ в } KI),$ моль/дм <sup>3</sup>	$m_{сорбента},$ Г	$V(Na_2 S_2O_3),$ см <sup>3</sup>	$X$	ЙЧ, I <sub>2</sub> /100 г
Исходный	0,1	2,020	2,5	8,573	6,92
1%-ный NaOH	0,1	2,010	2,1	9,843	7,91
5%-ный NaOH	0,1	2,040	0,95	13,494	11,00
1%-ный C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	0,1	2,060	2,65	8,096	6,67
5%-ный C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	0,1	2,015	3,35	5,874	4,73

Теоретически химического процесса взаимодействия целлюлозы и щавелевой кислоты не происходит, это обусловлено кристаллическим строением целлюлозы, сильными межмолекулярным взаимодействием, главным образом водородными связями. При действии на целлюлозу растворов щелочей происходят как структурные и химические ее изменения, так и физико-химические процессы. Последние приводят к интенсивному набуханию цел-

люлозы и к частичному растворению. Это обусловлено тем, что в процессах термической обработки у целлюлозы значительно понижается степень полимеризации и появляются новые карбонильные и карбоксильные группы.

Для изучения данного вопроса древесные опилки исследовались методом инфракрасной спектроскопии. На рисунке 1 изображен ИК-спектр исходных древесных опилок.

**Рис. 1.** ИК-спектр исходных древесных опилок**Fig. 1.** IR spectrum of the original sawdust

Поскольку инфракрасный спектр древесины представляет собой комплекс полос, характеризующий связи, существующие между макромолекулами целлюлозы,

лигнина и гемицеллюлоз, анализировать ИК-спектр нужно в общем виде.

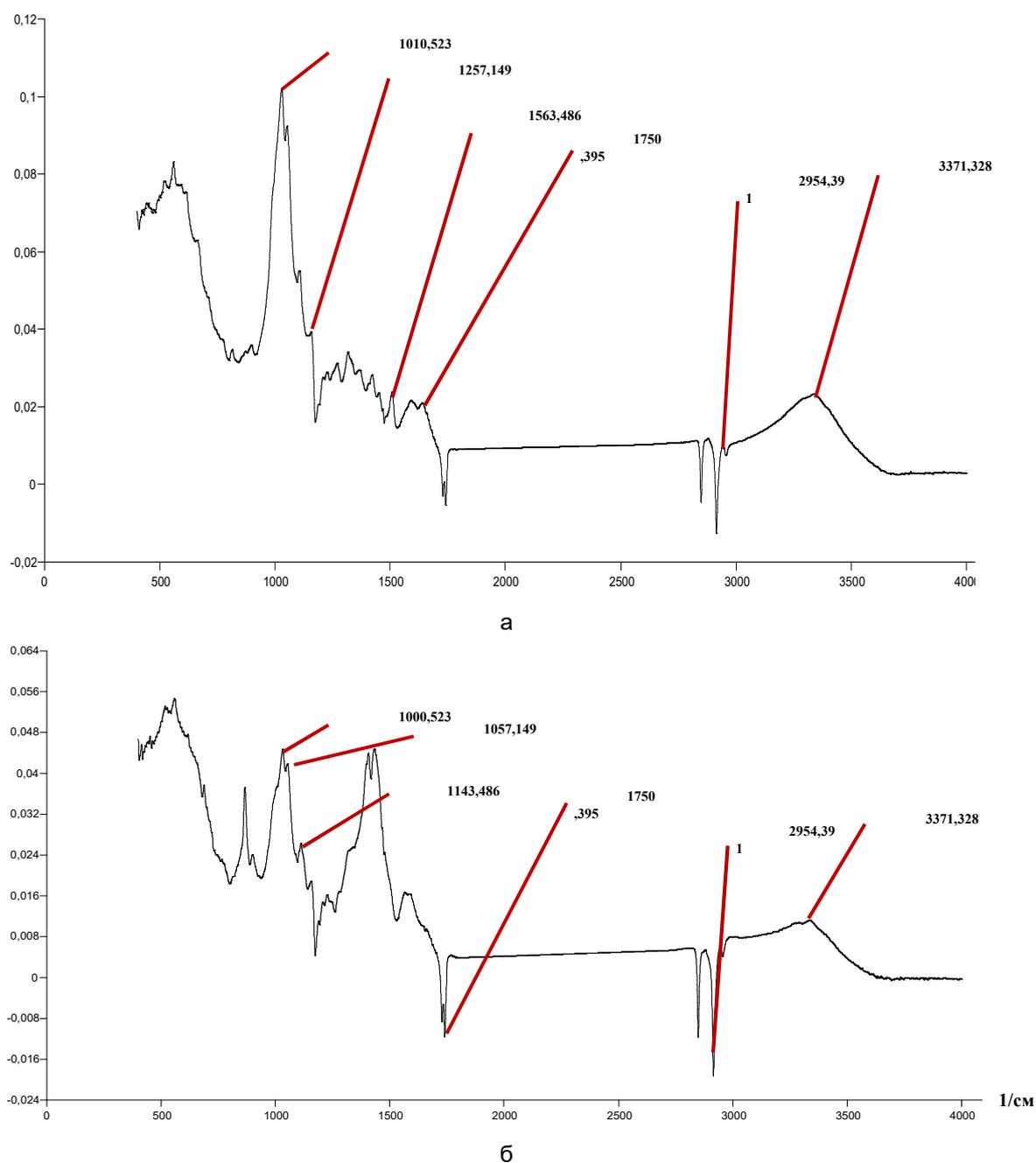
При 2945 и 2850 см<sup>-1</sup> полосы поглощения относятся к C-H-валентному коле-

банию в метильных и метиленовых группах, при  $1738\text{ см}^{-1}$  положение полосы указывает на  $\text{C}=\text{O}$ -валентные колебания в неконъюгированных кетонах, карбонила и в сложноэфирных группах (углеводородных остатков) [15].

Колебания в  $1210\text{--}1270\text{ см}^{-1}$  являются признаком скелетных колебаний гвая-

цильного кольца  $+\text{CAr}-\text{O}-\text{C}$  и сирингильного кольца  $+\text{C}-\text{O}$ . При  $834\text{--}858\text{ см}^{-1}$   $-\text{C}-\text{H}$ -внеплоскостные деформационные колебания в положениях 2, 5, 6 гваяцильного кольца и 2, 6 сирингильного кольца.

На рисунке 2 представлены ИК-спектры древесных опилок, модифицированных водными растворами  $\text{C}_2\text{H}_2\text{O}_4$ .



**Рис. 2.** ИК-спектры древесных опилок, модифицированных водными растворами  $\text{C}_2\text{H}_2\text{O}_4$ : а – 1%-ный раствор; б – 5%-ный раствор

**Fig. 2.** IR spectra of sawdust modified with aqueous solutions of  $\text{C}_2\text{H}_2\text{O}_4$ : а – 1% solution; б – 5% solution

ИК-спектр сорбента, модифицированного 1%-ным раствором  $C_2H_2O_4$ , практически не отличается от ИК-спектра исходного образца, следовательно, структурных изменений в результате модификации не происходит.

ИК-спектр древесных опилок, обработанных 5%-ным раствором щавелевой кислоты, претерпел изменения: появление пика в области  $3150-3390\text{ см}^{-1}$  и его снижение к  $3460\text{ см}^{-1}$ , что указывает на снижение содержания фенольных гидроксильных групп, вовлеченных в межмолекулярную водородную связь, на снижение

содержания спиртовых гидроксильных групп, вовлеченных в водородные связи. В связи с этим возможно увеличение степени замещения и перераспределения гидроксильных групп. Таким образом, можно предположить, что уменьшение гидроксильных групп в структуре древесных опилок позволяет увеличить возможность замещения О-Н-групп на молекулу прямых красителей во время сорбции.

На рисунке 3 изображены ИК-спектры древесных опилок, модифицированных водными растворами NaOH.

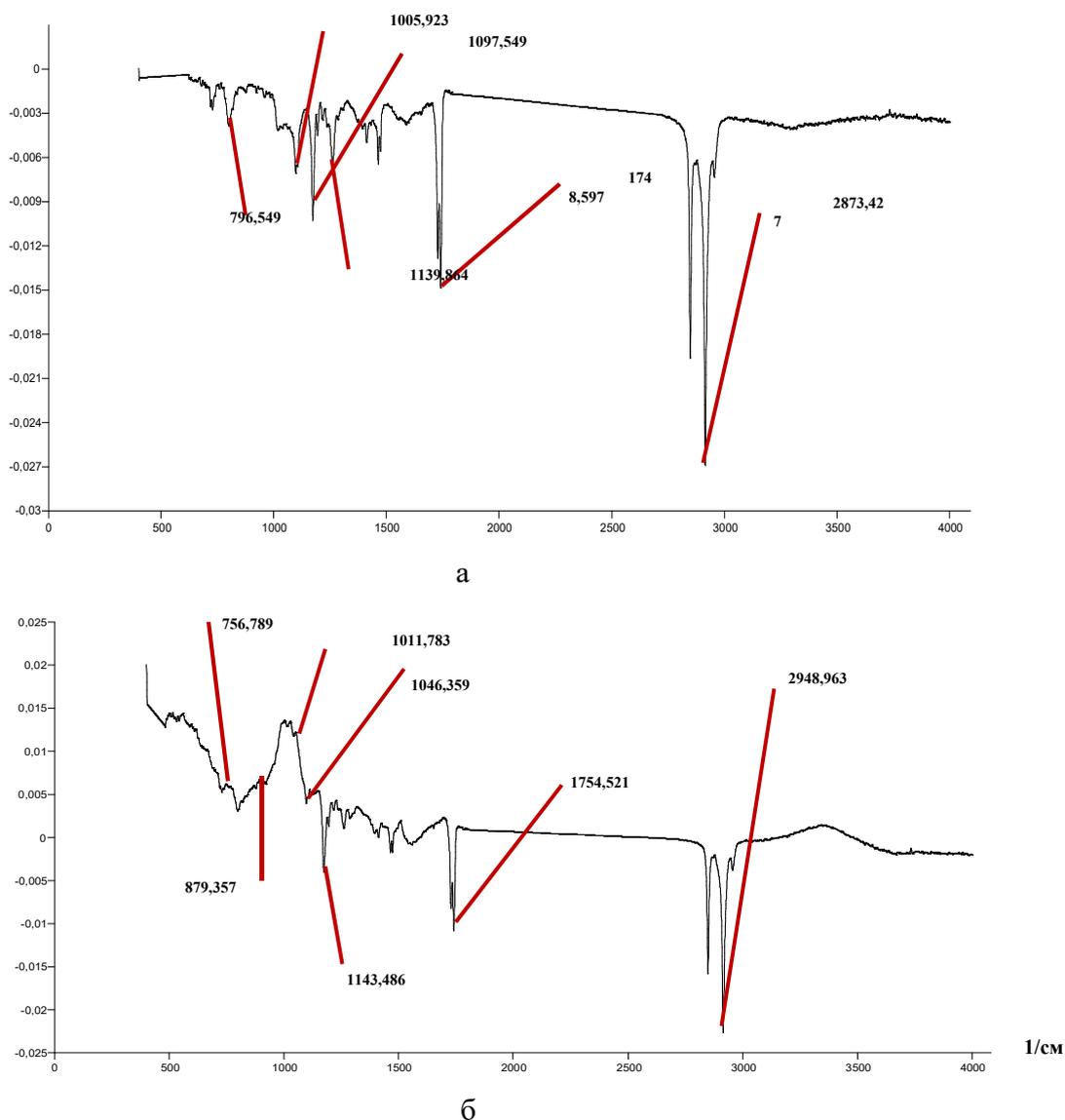


Рис. 3. ИК-спектры древесных опилок, модифицированные NaOH: а – 1%-ный раствор; б – 5% раствор

Fig. 3. IR spectra of sawdust modified with of NaOH: a – 1% solution; b – 5% solution

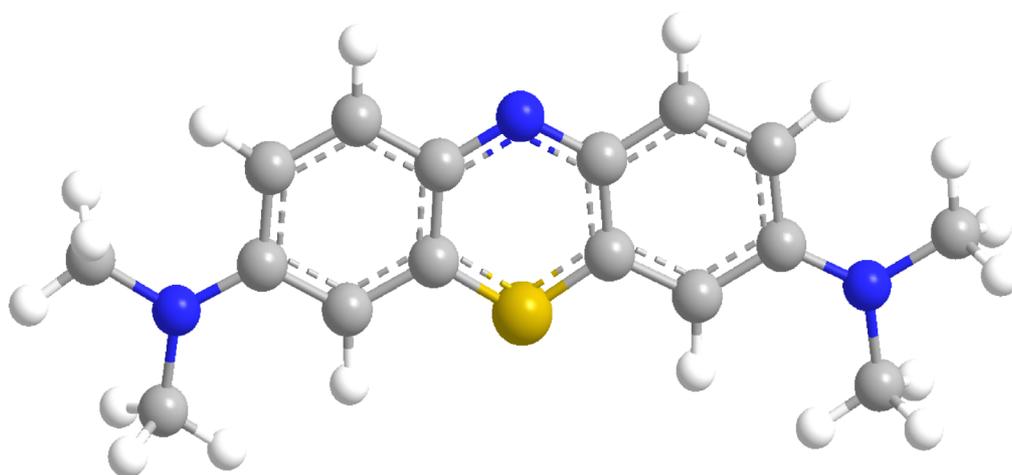
ИК-спектры сорбентов, обработанных гидроксидом натрия, как и ИК-спектр древесных опилок, модифицированных 5%-ной щавелевой кислотой, имеют вытянутый пик при  $3150\text{--}3390\text{ см}^{-1}$ , указывающий на уменьшение количества гидроксильных групп в структуре древесины. Но также отмечается изменение пиков спектров в диапазоне  $1000\text{--}1150\text{ см}^{-1}$ . Это изменение может быть вызвано сопряжением первичных и третичных гидроксильных групп в лигнине, что обуславливает плоскостную деформацию С-Н-связей ароматического кольца. Уменьшение интенсивности в области  $750\text{--}900\text{ см}^{-1}$  свидетельствует о том, что в структуре лигнина очень мало двойных этиленовых связей.

В ИК-спектре сорбента, модифицированного 5%-ным раствором NaOH, эти изменения выражены более явно. Данные изменения в структуре модифицированных сорбентов свидетельствуют о возможном улучшении древесных опилок к способности сорбировать прямые красители. Наличие в составе на карбонатной части поверхности карбонатных, бикарбо-

натных и гидроксильных групп, способных образовывать водородные связи с молекулами прямых красителей, обуславливают сорбционные свойства древесных опилок [16–18].

Исходя из данных, описанных ранее, сорбционная емкость зависит не только от строения сорбента, но и от строения молекул сорбата. Будет рациональным решением рассмотреть и сравнить молекулы прямых красителей: красный 2С, синий КУ, бирюзовый СВ, метиленовый голубой.

Молекула метиленового голубого имеет относительно большие линейные размеры, тем не менее с помощью адсорбционных опытов на силикатах со слоистой структурой решетки было установлено, что вследствие резонанса трех колец молекула этого красителя адсорбируется как плоская пластина [19]. Брутто-формула красителя МГ (система Хилла):  $\text{C}_{16}\text{H}_{18}\text{ClN}_3\text{S}$ , или в виде кристаллогидрата  $\text{C}_{16}\text{H}_{18}\text{ClN}_3\text{S}\cdot\text{H}_2\text{O}$ , представлена на рисунке 4.



**Рис. 4.** Изображение компьютерной модели катиона красителя метиленового голубого, оптимизированной методом молекулярной механики в валентно-силовом поле MMFF94

**Fig. 4.** Image of a computer model of the methylene blue dye cation optimized by the molecular mechanics method in the valence force field MMFF94

Краситель метиленовый голубой используют в качестве модельного сорбата при изучении адсорбционной активности, который рассматривают как «молекулярные щупы» для определения размеров пор сорбента. Метиленовый голубой имеет структуру из трёх конденсированных ароматических циклов. Положительный за-

ряд – на атоме серы. По сорбции метиленового голубого можно судить о содержании мезопор, имеющих большие размеры (1,5–50) нм [20].

Ниже представлены изображения компьютерных моделей прямых красителей: красный 2С (рис. 5), синий КУ (рис. 6), бирюзовый СВ (рис. 7).

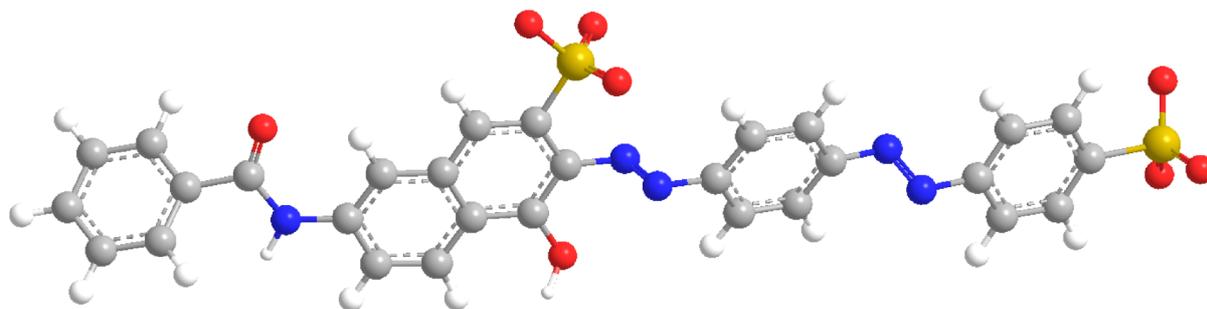


Рис. 5. Изображение компьютерной модели аниона красителя прямой красный 2С, оптимизированной методом молекулярной механики в валентно-силовом поле MMFF94

Fig. 5. Image of a computer model of the Direct Red 2C dye anion, optimized by the molecular mechanics method in the valence force field MMFF94

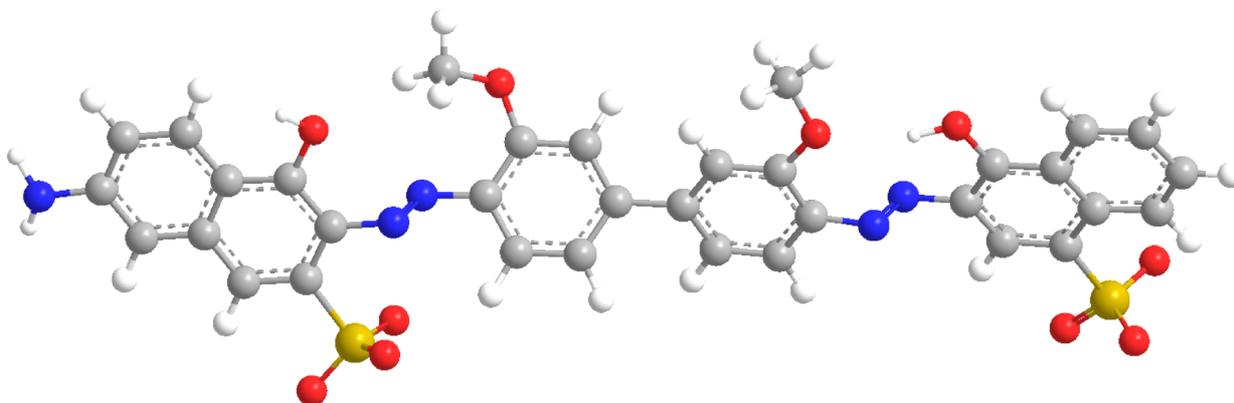
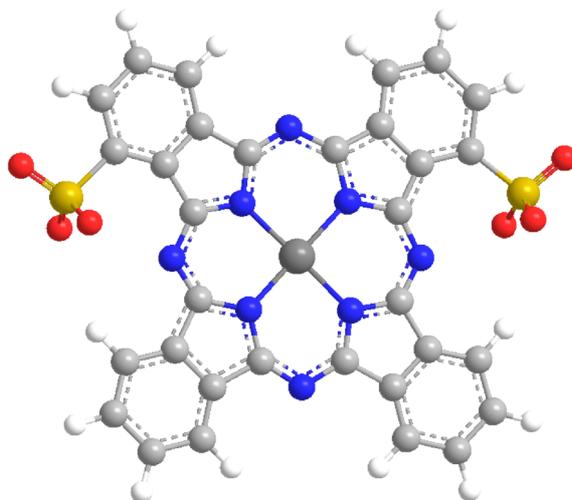


Рис. 6. Изображение компьютерной модели аниона красителя прямой синий КУ, оптимизированной методом молекулярной механики в валентно-силовом поле MMFF94

Fig. 6. Image of a computer model of the Direct Blue 151 dye anion, optimized by the molecular mechanics method in the valence force field MMFF94

Красный 2С и синий КУ имеют разветвлённую структуру молекулы. Имея большие размеры и объёмные функциональные группы, молекулы данных красителей «цепляются» за сорбент, проявляя высокие показатели степени сорбции.

Присутствие крупных функциональных групп, выходящих за ароматические кольца молекулы и способные к обмену с гидроксильными группами сорбента, повышает вероятность сорбции молекулы на поверхности древесных опилок.



**Рис. 7.** Изображение компьютерной модели аниона красителя прямой бирюзовый СВ, оптимизированной методом молекулярной механики в валентно-силовом поле MMFF94

**Fig. 7.** Image of a computer model of the Direct Blue 86 dye anion, optimized by the molecular mechanics method in the valence force field MMFF94

Наивысшей степенью сорбции среди всех модификаций древесных опилок в процессе сорбции прямого красного 2С и прямого синего КУ обладает сорбент, модифицированный 5%-ным водным раствором  $C_2H_2O_4$ , прямого бирюзового СВ – сорбент, модифицированный 5%-ным водным раствором NaOH.

### Заключение

В данной работе подтверждено, что модифицирование древесных опилок веществами, имеющими кислую и щелочную среду, положительно влияет на степень сорбции сорбента. В качестве модификаторов были использованы гидроксид натрия и щавелевая кислота.

Исследование физико-химических и адсорбционно-структурных параметров древесных опилок показало общую зависимость от вида модификации сорбента.

Экспериментально изучены сорбционные свойства древесных опилок различных модификаций по отношению к метиленовому голубому. Как свидетельствуют результаты исследований, все образцы древесных опилок проявляют сорбционные свойства, могут сорбировать молекулы размером от 0,63 до 1,26 нм.

Адсорбционная активность по йоду (X) отличается в значительных пределах (5,874–13,494), что обусловлено различным механизмом сорбции на различных модификациях целлюлозного сорбента. Наивысшей сорбционной способностью по отношению к остальным образцам обладают древесные опилки, модифицированные 1%-ным и 5%-ным NaOH.

Доказано исследованиями ИК-спектроскопии, что в процессе модификации сорбентов происходят изменения опилок на структурном уровне. Уменьшение интенсивности в области  $750\text{--}900\text{ см}^{-1}$  в сорбентах, обработанных 1%-ным и 5%-ным растворами NaOH, свидетельствует о том, что в структуре лигнина очень мало С=С-связей, а изменение пиков спектров в диапазоне  $1000\text{--}1150\text{ см}^{-1}$  вызвано сопряжением первичных и третичных –ОН-групп в лигнине, что обуславливает плоскостную деформацию С-Н-связей ароматического кольца. В ИК-спектре сорбента, модифицированного 5%-ным  $C_2H_2O_4$ , отмечается появление пика в области  $3150\text{--}3390\text{ см}^{-1}$  и его снижение к  $3460\text{ см}^{-1}$ , что указывает на уменьшение –ОН-групп в структуре древесных опи-

лок, что позволяет увеличить возможность замещения –ОН-групп на молекулу прямых красителей во время сорбции. ИК-спектры исходных и сорбентов и модифи-

цированных 1%-ным раствором  $C_2H_2O_4$  не имеют внешних отличий, что говорит об отсутствии изменения химической структуры целлюлозы.

### Список литературы

1. Лысенко А. В., Лямцев С. Е., Молокоедова И. В. Влияние породы древесных опилок на адсорбционную очистку от катионных красителей // Актуальные проблемы экологии и охраны труда: сборник статей VIII Международной научно-практической конференции / Юго-Зап. гос. ун-т. Курск, 2016. С. 286–290.

2. Очистка сточных вод от прямых красителей отходами деревообрабатывающей промышленности / К. И. Шабалина, В. С. Мяснянкина, А. В. Лысенко, В. С. Мальцева // Страна живет, пока работают заводы: сборник научных трудов Международной научно-технической конференции. Курск: ИП Пучков И. И., 2015. С. 388–391.

3. Лысенко А. В., Лямцев С. Е., Молокоедова И. В. Влияние породы древесных опилок на адсорбционную очистку от катионного красителя синего 2К // Физическая и коллоидная химия – основа новых технологий и современных методов анализа в химической и пищевой отраслях промышленности: [сборник статей]. Воронеж: Воронеж. гос. ун-т инженерных технологий, 2016. С. 350–354.

4. Шабалина К. И., Мяснянкина В. С., Сазонова А. В. Влияние массы древесных опилок на степень сорбции прямых красителей из водных растворов в зависимости от рН среды // Фундаментальные и прикладные исследования в области химии и экологии: материалы Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. Курск, 2015. С. 232–234.

5. Лысенко А. В., Левина К. А., Кувардин Н. В. Адсорбция прямых светопрочных красителей целлюлозным сырьем из водных растворов // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Техника и технологии. 2021. Т. 11, № 1. С. 114–129.

6. Левина К. А., Лысенко А. В. Кинетика процесса адсорбции прямых красителей целлюлозным сырьем из промышленных вод // Инновационный потенциал развития общества: взгляд молодых ученых: сборник научных статей Всероссийской научной конференции перспективных разработок. Курск: Университетская книга, 2020. Т. 2. С. 367–370.

7. Лысенко А. В., Янкив К. Ф., Левина К. А. Кинетика и константы скорости диффузии при сорбции прямых красителей древесными опилками // За нами будущее: взгляд молодых ученых на инновационное развитие общества: сборник научных статей Всероссийской молодежной научной конференции. Курск: Университетская книга, 2020. С. 154–158.

8. Плохих В. В. Определение химического состава древесных опилок // Наука молодых – будущее России: сборник научных статей 7-й Международной научной конференции перспективных разработок молодых ученых. Курск: Университетская книга, 2022. Т. 5. С. 104–107.

9. Ефремова А. Н., Бурыкина О. В. Исследование адсорбционной активности меловой породы Курской области // Фундаментальные и прикладные исследования в области химии и экологии: материалы Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. Курск: Университетская книга, 2015. С. 195–196.

10. Кольшкн Д. А., Михайлова К. К. Активные угли. Свойства и методы испытаний: справочник. Л.: Химия, Ленингр. отд-ние, 1972. 56 с.

11. Евсина Е. М., Алыков Н. М., Евсина А. М. Использование нового высокоэффективного сорбирующего материала для кондиционирования атмосферного воздуха в закрытых пространствах // Экологические системы и приборы. 2013. № 2. С. 45–51.

12. Влияние рН среды на сорбцию прямых светопрочных красителей древесными опилками из водных растворов / А. В. Лысенко, К. А. Левина, Е. А. Фатьянова, Д. А. Дурнев, А. Ефремова // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Техника и технологии. 2022. Т. 12, № 3. С. 201–225.

13. Лавров Р. В., Кликин Е. Г., Новиков Л. Б. Использование гидроксида натрия для получения стекловидных щелочных силикатов // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В. Г. Шухова. 2019. № 7. С. 95–101.
14. Олонцев В. Ф., Генералова К. Н., Минькова А. А. Исследование сорбционной способности и структуры нанопористых углеродных материалов // Современные инновации в науке и технике: сборник научных трудов 4 Международной научно-практической конференции. Курск: Университетская книга, 2014. С. 265–268.
15. Карпова Е. В. Изучение модифицированной древесины методом ИК-Фурье-спектроскопии: дис. ... канд. хим. наук. Красноярск, 2002. 140 с.
16. Сазонова А. В. Термодинамика и кинетика сорбции поллютантов сточных вод нетрадиционными материалами: дис. ... канд. хим. наук. Курск, 2013. 148 с.
17. Гатилова О. В., Бурькина О. В. Кинетика сорбции красителя катионного розового 2С древесными опилками // EUROPEJSKA NAUKA XXI POWIEKA – 2015: materiały XI międzynarodowej naukowo-praktycznej konferencji. Przemysł: Nauka i studia, 2015. Р. 68–70.
18. Исследование кинетических кривых сорбции древесными опилками прямого синего КУ из водных растворов в зависимости от pH среды / К. А. Левина, А. А. Рухлина, А. В. Лысенко, Н. В. Кувардин // 21 век: фундаментальная наука и технологии: материалы XXV Международной научно-практической конференции. North Charleston, Lulu Press Inc., 2021. С. 167–171.
19. Андриянцева С. А. Снижение эмиссии углеводородов из строительных материалов путем применения сорбентов, полученных из отходов коксохимического производства: дис. ... канд. техн. наук. Воронеж, 2012. 156 с.
20. Сазонова А. В., Афанасьева М. М. Использование отходов кожевенного производства для очистки сточных вод текстильных предприятий // Актуальные проблемы экологии и охраны труда: сборник статей VII Международной научно-практической конференции / редкол.: Л. В. Шульга (отв. ред.) [и др.]; Юго-Западный гос. ун-т. Курск, 2015. С. 181–185.

## References

1. Lysenko A. V., Lyamtsev S. E., Molokoedova I. V. Vliyanie porody drevesnykh opilok na adsorbtsionnyu ochistku ot kationnykh krasitelei [Influence of sawdust species on adsorption purification from cationic dyes]. *Aktual'nye problemy ekologii i ohrany truda. Sbornik statei VIII Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii* [Actual problems of ecology and labor protection. Collection of articles of VIII International Scientific and Practical Conference]. Kursk, Southwest St. Univ. Publ., 2016, pp. 286–290.
2. Shabalina K. I., Myasnyankina V. S., Lysenko A. V., Maltseva V. S. Ochistka stochnykh vod ot pryamykh krasitelei otkhodami derevoobrabatyvayushchei promyshlennosti [Wastewater treatment from direct dyes with waste from the woodworking industry]. *Strana zhyvet, poka rabotayut zavody. Sbornik nauchnykh trudov Mezhdunarodnoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii* [The country lives while the factories work. Collection of articles of International Scientific and Technical Conference]. Kursk, IP Puchkov I. I. Publ., 2015, pp. 388–391.
3. Lysenko A. V., Lyamtsev S. E., Molokoedova I. V. Vliyanie porody drevesnykh opilok na adsorbtsionnyu ochistku ot kationnogo krasitelya sinego 2K [Influence of sawdust species on adsorption purification from cationic dye blue 2K]. *Fizicheskaya i kolloidnaya khimiya – osnova novykh tekhnologii i sovremennykh metodov analiza v khimicheskoi i pishchevoi otraslyakh promyshlennosti. Sbornik statei* [Physical and colloidal chemistry - the basis of new technologies and modern methods of analysis in the chemical and food industries. Collection of articles]. Voronezh, Voronezh St. Univ. of Engineering Technologies Publ., 2016, pp. 350–354.
4. Shabalina K. I., Myasnyankina V. S., Sazonova A. V. Vliyanie massy drevesnykh opilok na stepen' sorbtsii pryamykh krasitelei iz vodnykh rastvorov v zavisimosti ot rN sredy [Influence of the mass of sawdust on the degree of sorption of direct dyes from aqueous solutions depending on the pH of the medium]. *Fundamental'nye i prikladnye issledovaniya v oblasti khimii i ekologii. Materily Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii studentov, aspirantov i molodykh uchenykh* [Fundamental and applied research

in the field of chemistry and ecology. Materials International scientific-practical conference of students, graduate students and young scientists]. Kursk, Universitetskaya kniga Publ., 2015, pp. 232–234.

5. Lysenko A. V., Levina K. A., Kuvardin N. V. Adsorbtsiya pryamykh svetoprochnykh krasitelei tsellyuloznym syr'em iz vodnykh rastvorov [Adsorption of direct light-resistant dyes by cellulose raw materials from aqueous solutions]. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Tekhnika i tekhnologii = Proceedings of the Southwest State University. Series: Technics and Technologies*, 2021, vol. 11, no. 1, pp. 114–129.

6. Levina K. A., Lysenko A. V. Kinetika protsessa adsorbtsii pryamykh krasitelei tsellyuloznym syr'em iz promyshlennykh vod [Kinetics of the process of adsorption of direct dyes by cellulose raw materials from industrial waters]. *Innovatsionnyi potentsial razvitiya obshchestva: vzglyad molodykh uchenykh. Sbornik nauchnykh statei Vserossiiskoi nauchnoi konferentsii perspektivnykh razrabotok* [Innovative potential for the development of society: the view of young scientists. Collection of articles of All-Russian scientific conference of advanced developments]. Kursk, Universitetskaya kniga Publ., 2020, pp. 367–370.

7. Lysenko A. V., Yankiv K. F., Levina K. A. Kinetika i konstanty skorosti diffuzii pri sorbtsii pryamykh krasitelei drevesnymi opilkami [Kinetics and rate constants of diffusion during the sorption of direct dyes by sawdust]. *Za nami budushchee: vzglyad molodykh uchenykh na innovatsionnoe razvitie obshchestva. Sbornik nauchnykh statei Vserossiiskoi molodezhnoi nauchnoi konferentsii* [The future behind us: a view of young scientists on the innovative development of society. Collection of scientific articles of All-Russian youth scientific conference]. Kursk, Universitetskaya kniga Publ., 2020, pp. 154–158.

8. Bad V. V. Opredelenie khimicheskogo sostava drevesnykh opilok [Determination of the chemical composition of sawdust]. *Nauka molodykh – budushchee Rossii. Sbornik nauchnykh statei 7-i Mezhdunarodnoi nauchnoi konferentsii perspektivnykh razrabotok molodykh uchenykh* [Science of the young - the future of Russia. Collection of scientific articles of the 7th International scientific conference of promising developments of young scientists]. Kursk, Universitetskaya kniga Publ., 2022, pp. 104–107.

9. Efremova A. N., Burykina O. V. Issledovanie adsorbtsionnoi aktivnosti melovoi porody Kurskoi oblasti [Study of the adsorption activity of the chalk rock of the Kursk region]. *Fundamental'nye i prikladnye issledovaniya v oblasti khimii i ekologii. Materialy Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii studentov, aspirantov i molodykh uchenykh* [Fundamental and applied research in the field of chemistry and ecology. Materials of the International scientific-practical conference of students, graduate students and young scientists]. Kursk, Universitetskaya kniga Publ., 2015, pp. 195–196.

10. Kolyshkin D. A., Mikhailova K. K. Aktivnye ugli. Svoistva i metody ispytaniy [Active coals. Properties and test methods]. Leningrad, Khimiya Publ., Leningr. otd-nie, 1972. 56 p.

11. Evsina E. M., Alykov N. M., Evsina A. M. Ispol'zovanie novogo vysokoefektivnogo sorbiruyushchego materiala dlya konditsionirovaniya atmosfernogo vozdukh v zakrytykh prostranstvakh [The use of a new highly efficient sorbent material for atmospheric air conditioning in closed spaces]. *Ekologicheskie sistemy i pribory = Ecological systems and devices*, 2013, no. 2, pp. 45–51.

12. Lysenko A. V., Levina K. A., Fatyanova E. A., Durnev D. A., Efremova A. Vliyanie pH sredy na sorbtsiyu pryamykh svetoprochnykh krasitelei drevesnymi opilkami iz vodnykh rastvorov [Influence of medium pH on the sorption of direct lightfast dyes by sawdust from aqueous solutions]. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Tekhnika i tekhnologii = Proceedings of the Southwest State University. Series: Technics and Technologies*, 2022, vol. 12, no. 3, pp. 201–225.

13. Lavrov R. V., Klikin E. G., Novikov L. B. Ispol'zovanie gidroksida natriya dlya polucheniya steklovidnykh shchelochnykh silikatov [The use of sodium hydroxide to obtain vitreous alkaline silicates]. *Vestnik Belgorodskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta im. V. G. Shukhova = Bulletin of the Belgorod State Technological University V. G. Shukhov*, 2019, no. 7, pp. 95–101.

14. Olontsev V. F., Generalova K. N., Minkova A. A. Issledovanie sorbtsionnoi sposobnosti i struktury nanoporistykh uglerodnykh materialov [Study of the sorption capacity and structure of nanoporous carbon materials]. *Sovremennye innovatsii v nauke i tekhnike. Sbornik nauchnykh trudov 4 Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii* [Modern innovations in science and technology. Collection of scientific articles of the 4th International scientific and practical conference]. Kursk, Universitetskaya kniga Publ., 2014, pp. 265–268.

15. Karpova E. V. Izuchenie modifitsirovannoi drevesiny metodom IK-Fur'e-spektroskopii. Diss. kand. tekhn. nauk [Study of modified wood by IR-Fourier spectroscopy. Cand. chem. sci. diss.]. Krasnoyarsk, 2002. 140 p.

16. Sazonova A. V. Termodinamika i kinetika sorbtzii pollyutantov stochnykh vod netraditsionnymi materialami. Diss. kand. khim. nauk [Thermodynamics and kinetics of sorption of waste water pollutants by non-traditional materials. Cand. chem. sci. diss.]. Kursk, 2013. 148 p.

17. Gatilova O. V., Burykina O. V. Kinetika sorbtzii krasitelya kationnogo rozovogo 2S drevesnymi opilkami [Sorption kinetics of cationic pink dye 2C on sawdust]. [European science of the XXI century – 2015. Proceedings of the XI International scientific and practical conference]. Przemysl, Nauka i studia Publ., 2015, pp. 68–70.

18. Levina K. A., Rukhlina A. A., Lysenko A. V., Kuvardin N. V. Issledovanie kineticheskikh krivyykh sorbtzii drevesnymi opilkami pryamogo sinego KU iz vodnykh rastvorov v zavisimosti ot pH sredy [Study of the kinetic curves of sorption of direct blue HC from aqueous solutions by sawdust depending on the pH of the medium]. *21 vek: fundamental'naya nauka i tekhnologii. Materialy XXV Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii* [21st century: fundamental science and technology. Materials of the XXV international scientific and practical conference]. North Charleston, Lulu PressInc., 2021, pp. 167–171.

19. Andriyantseva S. A. Snizhenie emissii uglevodorodov iz stroitel'nykh materialov putem primeniya sorbentov, poluchennykh iz otkhodov koksokhimicheskogo proizvodstva. Diss. kand. tekhn. nauk [Reducing the emission of hydrocarbons from building materials by using sorbents obtained from by-products of coke production. Cand. eng. sci. diss.]. Voronezh, 2012. 156 p.

20. Sazonova A. V., Afanas'eva M. M. Ispol'zovanie otkhodov kozhevonnogo proizvodstva dlya ochistki stochnykh vod tekstil'nykh predpriyatii [The use of leather production waste for wastewater treatment of textile enterprises]. *Aktual'nye problemy ekologii i okhrany truda. Sbornik statei VII Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii* [Actual problems of ecology and labor protection. Collection of articles of the VII International scientific and practical conference]; ed. by L. V. Shulga. Kursk, Southwest St. Univ. Publ., 2015, pp. 181–185.

---

### Информация об авторах / Information about the Authors

**Лысенко Анна Владимировна**, кандидат химических наук, доцент кафедры фундаментальной химии и химической технологии, Юго-Западный государственный университет, г. Курск, Российская Федерация, e-mail: ginger313@mail.ru, ORCID: 0000-0003-0776-8648

**Anna V. Lysenko**, Candidate of Sciences (Chemistry), Associate Professor of the Department of Fundamental Chemistry and Chemical Technology, Southwest State University, Kursk, Russian Federation, e-mail: ginger313@mail.ru, ORCID: 0000-0003-0776-8648

**Левина Кристина Андреевна**, магистрант кафедры фундаментальной химии и химической технологии, Юго-Западный государственный университет, г. Курск, Российская Федерация, e-mail: kris.levina2015@yandex.ru, ORCID: 0000-0002-6397-0544

**Kristina A. Levina**, Undergraduate of the Department of Fundamental Chemistry and Chemical Technology, Southwest State University, Kursk, Russian Federation, e-mail: kris.levina2015@yandex.ru, ORCID: 0000-0002-6397-0544

**Янкив Карине Феликсовна**, кандидат педагогических наук, доцент кафедры фундаментальной химии и химической технологии, Юго-Западный государственный университет, г. Курск, Российская Федерация, e-mail: kari1508@mail.ru

**Karine F. Yankiv**, Candidate of Sciences (Pedagogical), Associate Professor of the Department of Fundamental Chemistry and Chemical Technology, Southwest State University, Kursk, Russian Federation, e-mail: kari1508@mail.ru