

Изучение сорбции фенола непищевыми отходами переработки пшеницы

О. В. Бурыкина¹ ✉, З. С. Коновальцева¹, К. В. Волвенкина¹

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

✉ e-mail: buoksana@yandex.ru

Резюме

Целью исследования является изучение процесса сорбции фенола отходами переработки пшеницы. Охране окружающей среды в современном мире уделяется большое внимание, особенно водным ресурсам, поскольку для существования человеку необходима чистая вода. Современные предприятия различных отраслей промышленности и сельского хозяйства все чаще внедряют в производство безотходные технологии или высокоэффективные методы очистки сточных вод. Одним из простых в аппаратном оформлении и выполнении, но очень эффективным является сорбционный метод. Использование в качестве сорбентов отходов производства весьма перспективно, т. к. позволяет, кроме экологической проблемы, решать вопрос утилизации или вторичного использования отходов производства.

Методы. При изучении состава половы пшеницы использовались следующие методы: определение золы и влаги – весовой; целлюлозы – азотно-спиртовой, пентозанов – спектрофотометрический с орсином, лигнина – метод Комарова. Сорбцию фенола отходами переработки пшеницы (полова) проводили методом одноступенчатой статической сорбции при температуре 25°C.

Выявление характера сорбции фенола непищевыми отходами переработки зерна проводили с использованием метода ИК-спектроскопии. С помощью ИК-Фурье-спектрометра Nicolet i S50 FT-IR без формования таблеток в диапазоне 4000–400 см⁻¹ были сняты ИК-спектры фенола, половы пшеницы и половы пшеницы после сорбции фенола.

Результаты. При изучении химического состава половы пшеницы установлено, что основными компонентами являются целлюлоза (34,8%), пентазаны (19,7%), лигнин (23,1%).

При анализе полученных ИК-спектров было выяснено, что в ИК-спектре непищевых отходов переработки пшеницы после сорбции фенола проявляется пик при 2323,37 см⁻¹, что связано с образованием связи между подвижным атомом водорода бензилспиртовой группы лигнина с гидроксильной группой фенола.

Заключение. ИК-спектроскопическое исследование процесса сорбции фенола непищевыми отходами переработки пшеницы (полова) показало, что при сорбции фенола между сорбентом и сорбатом возникает химическая связь, которая на ИК-спектре проявляется в виде новой полосы поглощения.

Ключевые слова: фенол; сорбция; ИК-спектроскопия; отходы; полова.

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

Для цитирования: Бурыкина О. В., Коновальцева З. С., Волвенкина К. В. Изучение сорбции фенола непищевыми отходами переработки пшеницы // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Техника и технологии. 2023. Т. 13, № 2. С. 222–234. [https://doi.org/ 10.21869/2223-1528-2023-13-2-222-234](https://doi.org/10.21869/2223-1528-2023-13-2-222-234)

Поступила в редакцию 22.02.2023

Подписана в печать 15.04.2023

Опубликована 30.05.2023

Study of the Sorption of Phenol with Non-Food Waste Wheat Processing

Oksana V. Burykina¹ ✉, Zlata S. Konovaltseva¹, Kristina V. Volvenkina¹

¹ Southwest State University
50 Let Oktyabrya Str. 94, Kursk 305040, Russian Federation

✉ e-mail: buoksana@yandex.ru

Abstract

The purpose of the work is to study the process of phenol sorption by wheat processing wastes. Much attention is paid to environmental protection in the modern world, especially water resources, since clean water is necessary for human existence. Modern enterprises of various industries and agriculture are increasingly introducing waste-free technologies or highly efficient wastewater treatment methods into production. One of the simple in hardware design and implementation, but very effective, is the sorption method. The use of production waste as sorbents is very promising, because, allows, in addition to the environmental problem, to solve the issue of disposal or recycling of production waste.

Methods. When studying the composition of chaff wheat, the following methods were used: determination of ash and moisture - by weight; cellulose - nitrogen-alcohol, pentosans - spectrophotometric with orsin, lignin - Komarov's method.

Sorption of phenol by wheat processing waste was carried out by the method of single-stage static sorption at a temperature of 25°C.

Identification of the nature of phenol sorption by non-food waste from grain processing was carried out using the IR spectroscopy method. Using the Nicoletti S50 FT-IR IR-Fourier spectrometer without molding tablets in the range of 4000 - 400 cm⁻¹, the IR spectra of phenol, wheat chaff and wheat chaff after phenol sorption were taken.

Results. Analysis of the chemical composition of wheat waste (chaff) showed that the main components are cellulose (34.8%), pentazans (19.7%), lignin (23.1%).

When analyzing the obtained IR spectra, it was found that in the IR spectrum of non-food waste from wheat processing after phenol sorption, a peak appears at 2323.37 cm⁻¹, which is associated with the formation of a bond between the mobile hydrogen atom of the benzyl alcohol group of lignin with the hydroxyl group of phenol.

Conclusion. IR-spectroscopic study of the process of sorption of phenol by non-food waste from wheat processing (chaff) showed that during the sorption of phenol, a chemical bond arises between the sorbent and the sorbate, which manifests itself in the IR spectrum as a new absorption band.

Keywords: phenol; sorption; IR spectroscopy; waste; polova.

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

For citation: Burykina O. V., Konovaltseva Z. S., Volvenkina K. V. Study of the Sorption of Phenol with Non-Food Waste Wheat Processing. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Tekhnika i tekhnologii = Proceedings of the Southwest State University. Series: Engineering and Technologies*. 2023; 13(2): 222–234. (In Russ.) <https://doi.org/10.21869/2223-1528-2023-13-2-222-234>

Received 22.02.2022

Accepted 15.04.2023

Published 30.05.2023

Введение

Бурное развитие предприятий различных отраслей промышленности приводит к увеличению антропогенных загрязнений, попадающих в окружающую среду. Одними из наиболее уязвимых среди природных объектов, подверженных негативному влиянию человека, являются поверхностные и грунтовые воды, поэтому большое внимание уделяют регулярному контролю состояния объектов гидросферы [1–5]. Мониторингу состояния природных и поверхностных вод г. Курска и Курской области посвящено множество НИР студентов экологического профиля ЮЗГУ [6–8].

Наибольший вред здоровью человека наносят техногенные химические вещества, стойкие в водной среде и обладающие мутагенным и канцерогенным действием, а также способностью негативно влиять на репродуктивную функцию человека. Одним из опасных ксенобиотиков, загрязняющих природные воды, является фенол и его производные [9].

Фенольные соединения нашли широкое применение на предприятиях нефтехимической (краски, пестициды, фенолформальдегидные смолы), нефтеперерабатывающей (полимеры, пластмассы, смазочные и растворяющие вещества), целлюлозно-бумажной, фармацевтической промышленности, поэтому они часто встречаются в сточных водах предприятий этих отраслей [10].

Сбросы фенола в водоемы приводят к нарушению газообмена в водном объекте, изменяется естественная концентрация растворенного в воде кислорода, тормозятся биологические процессы, что может привести к гибели водной флоры и фауны. Водоемы с повышенным содержанием фенола покрываются пленкой, вода приобретает запах и вкус фенола, а рыба – формальдегида.

По влиянию на организм человека фенол и его производные относятся к веществам 2 класса опасности (ГОСТ 23519-93. Фенол синтетический технический). Он негативно влияет на органы дыхания, вызывая боль в глотке, попадая внутрь организма, снижает артериальное давление, возникает сердечная недостаточность, при контакте с кожей появляются ожоги, раны [11]. Длительное употребление воды с повышенным содержанием фенола и его производных приводит к нарушению функции нервной системы, поражению внутренних органов, например, печени и почек. ПДК фенола в воде, используемой в хозяйственно-питьевых и культурно-бытовых целях, составляет 0,001 мг/л.

На сегодняшний момент для очистки сточных вод от поллютантов различного происхождения широко используются сорбционные методы, причем использование вместо традиционных сорбентов (катиониты, аниониты, активированный уголь, цеолиты и др.) природных сорбентов местного происхождения [12–15] или отходов промышленных предприятий [16–17] является экономически выгодным, т. к. снижаются затраты на транспортировку сырья для производства сорбента.

Ранее [10; 18–21] было выявлено большое сорбционное средство растительного сорбента по отношению к органическим загрязнителям водных объектов.

Материалы и методы

При гравиметрическом определении влажности 1 г пшеничной соломы высушивали при $(103 \pm 2^\circ\text{C})$ до постоянной массы. Влажность отходов переработки пшеницы определили, используя выражение

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

где m_1 – вес образца перед сушкой, г; m_2 – вес образца после сушки, г.

Определение коэффициента пересчета на абсолютно сухое вещество проводили, используя выражение

$$K_{\text{сух}} = \frac{100 - W}{100}, \quad (2)$$

где W – влажность отходов переработки пшеницы, %.

Для определения золы 3 г отходов переработки пшеницы обугливали. Полученное обугленное вещество прокаливали в муфельной печи при 580°C до достижения постоянной массы. Используя выражение

$$З = \frac{m \cdot 100}{m_1 \cdot K_{\text{сух}}}, \quad (3)$$

где m – вес золы, г; m_1 – количество отходов переработки пшеницы, взятое для анализа, г; $K_{\text{сух}}$ – коэффициент пересчета на абсолютно сухое вещество, определили количество золы в процентах по массе.

Для определения целлюлозы проводили делигнификацию исследуемых отходов переработки пшеницы азотно-спиртовым методом. К 1 г половы добавили азотно-спиртовую смесь объемом 25 см³ и медленно кипятили на водяной бане 60 минут. Жидкая фаза была отделена через стеклянный фильтр с постоянной массой. Обработку азотно-спиртовой смесью проводили 3 раза. После третьей обработки проверили полноту делигнификации (отрицательная проба с флороглюцином). Полученную целлюлозную массу промывали на стеклянном фильтре 10 см³ азотно-спиртовой смеси, а затем горячей водой до pH = 7. Высушивание фильтра с целлюлозой проводили при (105±2)°C до постоянного веса.

Используя выражение

$$Ц = \left(\frac{m}{q \cdot K_{\text{сух}}} \right) \cdot 100 \cdot \frac{100 - П}{100}, \quad (4)$$

где m – вес целлюлозы, г; g – навеска изучаемого образца сырья, г; $K_{\text{сух}}$ – коэффициент пересчета на абсолютно сухое вещество; $П$ – количество остаточных пентозанов в целлюлозе, %, рассчитали количество целлюлозы в процентах по массе.

Количественное определение пентазанов проводилось спектрофотометрически с использованием метода калибровочного графика (ГОСТ 10820-75. Целлюлоза. Метод определения массовой доли пентазанов).

Для извлечения фурфурола в колбу Эрленмейера поместили 1 г половы, 20 г NaCl и 100 см³ 13%-ного раствора хлористоводородной кислоты. Нагревание колбы проводили на глицериновой бане (164–166°C). Затем добавили 30 см³ 13%-ного раствора хлороводородной кислоты и продолжили нагревание. Перегонку проводили до получения жидкой фазы объемом 225 см³. Полученную жидкую фазу перенесли в мерную колбу на 250 см³ и прилили до метки 13%-ный раствор хлористоводородной кислоты. В колбу Эрленмейера на 100 см³ поместили 5 см³ полученного раствора и добавили 25 см³ раствора орсины, перемешали и выдержали при 20°C 50 мин. Далее к содержимому в колбе прилили 20 мл этилового спирта, перемешали и выдержали при 20°C 10–15 мин, а затем определили оптическую плотность полученного раствора относительно холостой пробы на спектрофотометре ПЭ-5400 УФ с длиной волны 630 нм. Используя измеренную оптическую плотность, по градуировочному графику нашли массу пентозанов.

При приготовлении холостой пробы вместо раствора фурфурола использовали 5 см³ 13%-ного раствора хлороводородной кислоты.

Для приготовления стандартных образцов, используемых при построении калибровочного графика, в 10 колб Эрленмейера отобрали 5; 10; 15; 20; 25; 30; 35; 40; 45 и 50 см³ проб 1 г/л раствора целлюлозы. В каждой отобранной пробе опреде-

лили фурфурол, используя ту же методику, что и при определении его в образце половы. Далее построили график зависимости $A = f(m)$.

Используя выражение

$$\Pi = \frac{q \cdot 10}{m \cdot (100 - W)}, \quad (5)$$

где g – количество пентозанов в пробе, мг; m – вес сухого образца половы, г; W – влажность образца половы, %, рассчитали содержание пентозанов (мас. %) к сухой навеске половы.

Используя метод Комарова, определили содержание лигнина: 1 г пшеничной половы, обработанной спирто-толуольной смесью, поместили в колбу Эрленмейера, добавили 15 см³ серной кислоты с плотностью 1,64 г/см³ и выдержали в термостате при 24–25°C 2,5 ч при периодическом помешивании. Полученную смесь перенесли в круглодонную колбу объемом 500 см³, смывая лигнин 200 см³ дистиллированной водой. Содержимое колбы кипятили с обратным холодильником в течение 1 ч. Далее лигнин отфильтровывали на стеклянном фильтре, высушенном до постоянной массы. Лигнин промывали горячей водой до отрицательной кислой пробы по метиловому оранжевому. Фильтр с лигнином сушили до достижения постоянной массы при (105±2)°C.

Используя выражение

$$L = \frac{m}{q} \cdot K_s \cdot 100, \quad (6)$$

где m – количество лигнина, г; g – вес половы пшеницы, г; K_s – коэффициент экстракции лигнина, рассчитали количество лигнина (мас. %) в образце отходов переработки пшеницы.

Сорбцию фенола проводили в статических условиях при комнатной температуре: 50 см³ 0,1 г/л водного раствора фенола прилили к 1 г сорбента (полова пшеницы) и перемешивали магнитной мешалкой в течение 30 минут. Количество остаточного фенола определяли броматометрическим методом и рассчитали сорбцию фенола (%) половой пшеницы.

Далее, используя ИК-Фурье-спектрометр Nicolet iS50 FT-IR, были получены ИК-спектры: фенола, отходов переработки пшеницы до и после сорбции в области 4000–400 см⁻¹.

Результаты и их обсуждение

Предварительно изучили химический состав отходов переработки пшеницы, а именно содержание целлюлозы, пентозанов, лигнина и золы. Перед определением содержания золы определили влажность исследуемых отходов пшеницы, которая составила 3,35%.

Анализ данных, полученных при определении химического состава отходов переработки пшеницы (табл.), показал, что основными компонентами являются целлюлоза и лигнин.

Таблица. Химический состав отходов переработки пшеницы

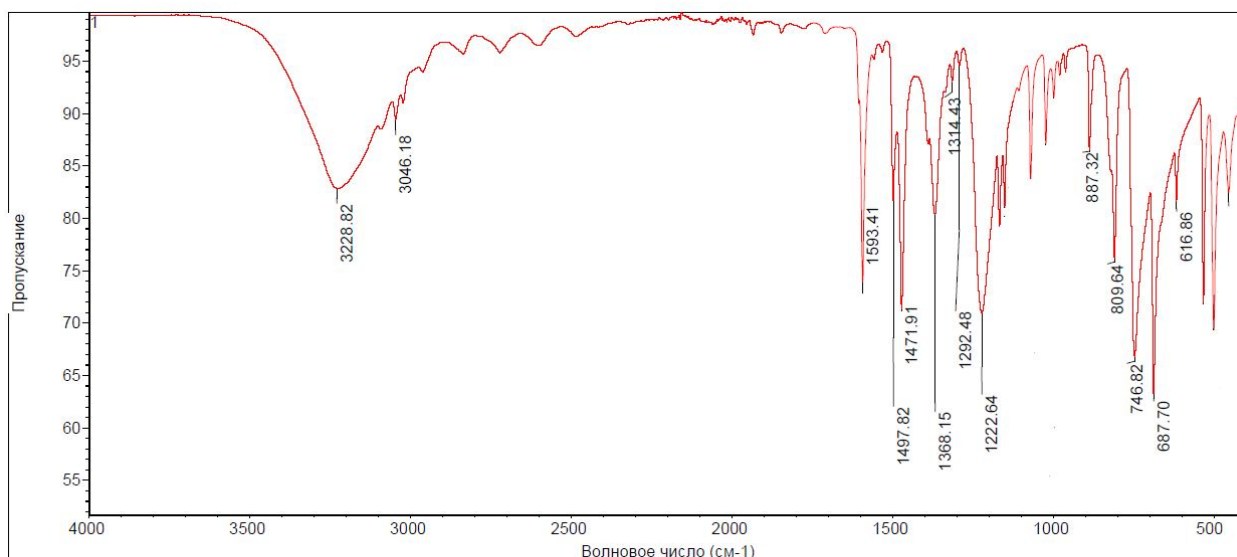
Table. Chemical composition of wheat processing waste

Соединение	Количество, %
Целлюлоза	34,8
Пентозаны	19,7
Лигнин	23,1
Зола	4,2
Влажность	3,35

Проведенная сорбция показала, что 1 г половы пшеницы извлекают 97,7% фенола из его раствора с концентрацией 0,1 г/л.

В спектре фенола (рис. 1) при $3228,82\text{ см}^{-1}$ видна широкая полоса валентных колебаний гидроксигруппы межмолекулярной водородной связи, при

$1368,15\text{ см}^{-1}$ и $1314,43\text{ см}^{-1}$ проявляются полосы, соответствующие плоским деформационным колебаниям ОН-группы, а при $616,7\text{ см}^{-1}$ – полоса внеплоскостных деформационных колебаний ОН-группы, участвующих в образовании водородной связи.



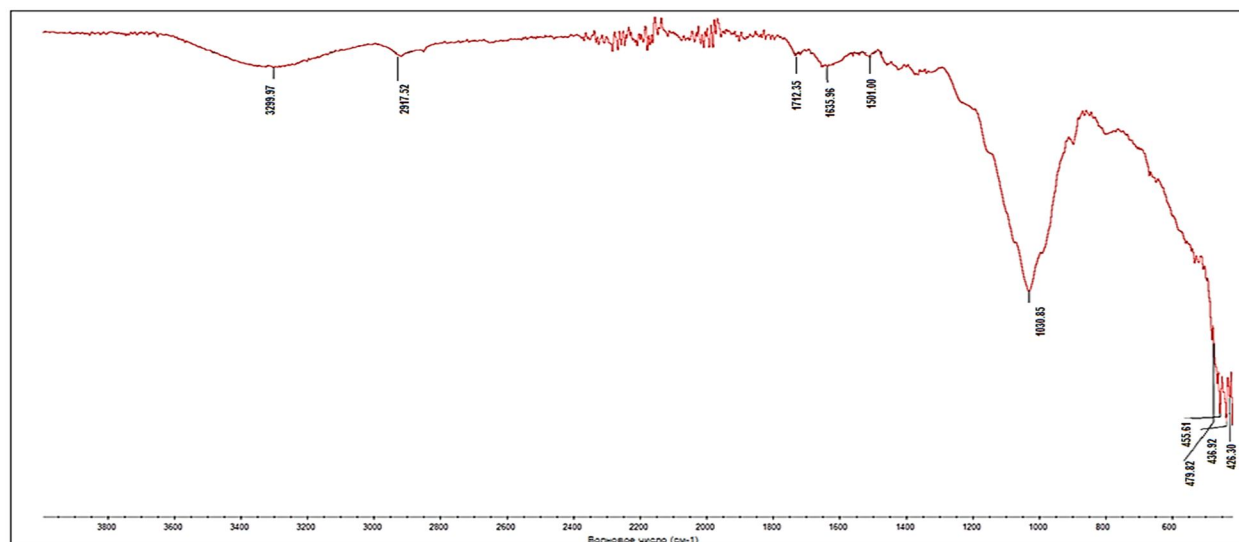


Рис. 2. ИК-спектр отходов переработки зерна пшеницы до сорбции

Fig. 2. IR spectrum of wheat grain processing waste before sorption

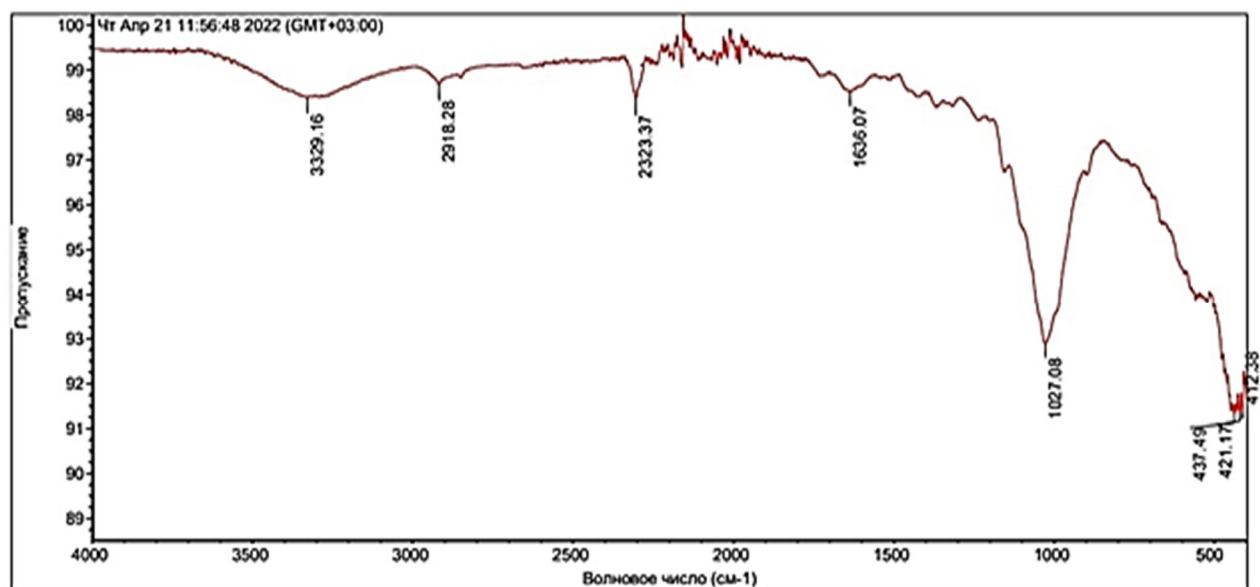
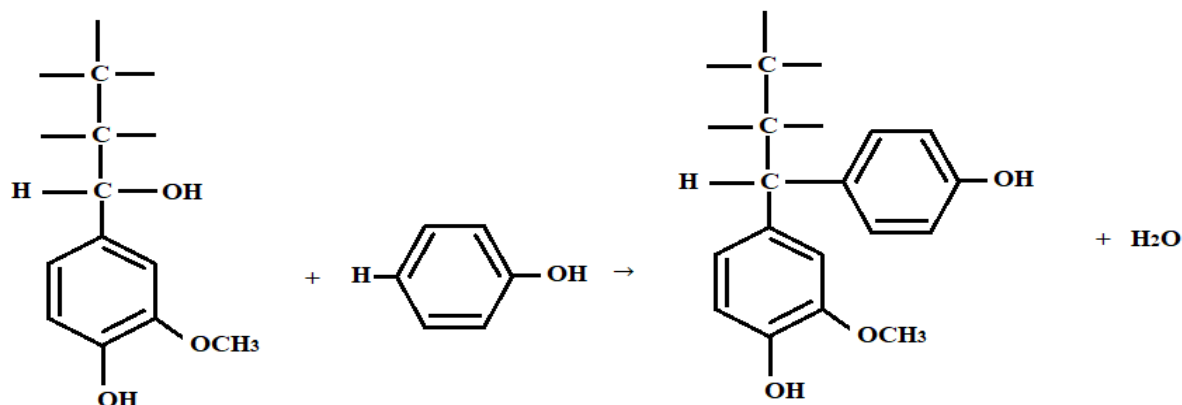


Рис. 3. ИК-спектр отходов переработки зерна пшеницы после сорбции

Fig. 3. IR-spectrum of wheat grain processing waste after sorption

Сравнение ИК-спектров фенола, полловы пшеницы до и после сорбции фенола показало, что в спектре отходов пшеницы после сорбции фенола появляется новая полоса при $2323,37\text{ см}^{-1}$, которая отсутствует как в спектре полловы пшеницы до

сорбции, так и в спектре фенола. Появление нового пика связано с взаимодействием гидратированной формы фенола и лигнина, входящего в состав отходов переработки пшеницы.



Фенол присоединяется к лигнину за счет взаимодействия бензилспиртовых групп лигнина с подвижным атомом водорода в *o*- и *n*-положении к гидроксильной группе фенола [22].

Выводы

Анализ ИК-спектров показал, что сорбция фенола отходами переработки пшеницы сопровождается химическими взаимодействиями между фенолом и лигнином, входящим в состав растительных отходов.

Список литературы

1. Мешалкин А. В., Дмитриевна Т. В., Шемель И. Г. Экологическое состояние гидросферы / под ред. А. П. Коржавого. Калуга : Изд-во науч. лит. Н. Ф. Бочкаревой, 2007. 263 с.
2. Комплексная оценка влияния сбросов загрязняющих веществ объектов негативного воздействия на состояние гидросферы / М. В. Зильберман, М. В. Черепанов, Е. А. Пичугин [и др.] // Экология урбанизированных территорий. 2021. № 3. С. 71–76. <https://doi.org/10.24412/1816-1863-2021-3-71-76>.
3. Фатьянова Е. А., Мальцева В. С., Бурыкина О. В. Экологическое обследование прудов г. Курска и Курского водохранилища // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Техника и технологии. 2012. № 2, ч. 3. С. 270–274.
4. Бурыкина О. В., Мальцева В. С. Оценка состава поверхностных и грунтовых вод окрестностей г. Курска // Научное обеспечение агропромышленного производства: материалы Международной научно-практической конференции / отв. за выпуск И. Я. Пигорев. Курск: Курская гос. сельскохозяйственная акад. им. проф. И. И. Иванова, 2010. Ч. 2. С. 287–290.
5. О качестве природных вод водохозяйственного комплекса г. Курска / Т. И. Зеленкова, С. Н. Хоботова, В. С. Мальцева, О. В. Бурыкина // Проблемы развития аграрного сектора региона : материалы Всероссийской научно-практической конференции: в 4 ч. Курск: Курская гос. сельскохозяйственная акад. им. проф. И. И. Иванова, 2006. Ч. 3. С. 178–180.
6. Бурыкина О. В., Мальцева В. С., Фатьянова Е. А. Организация учебной и научно-исследовательской работы студентов-экологов ЮЗГУ // Экологическое образование и охрана окружающей среды: Технические университеты в формировании единого научно-технологического и образовательного пространства СНГ: сборник статей / под ред. А. А. Александрова. М.: Ассоциация технических университетов, 2014. Ч. I. С. 98–103.
7. Бурыкина О. В., Мальцева В. С., Фатьянова Е. А. Использование метода проектов при организации самостоятельной и научно-исследовательской работы студентов при изучении дисциплин химического профиля в ЮЗГУ // Известия Юго-Западного государственного университета. 2012. № 4 (43), ч. 3. С. 257–261.

8. Мальцева В. С., Фатьянова Е. А., Бурыкина О. В. Научно-исследовательская работа как один из путей совершенствования экологического образования студентов // Методы решения экологических проблем / под ред. Л. Г. Мельника. Сумы: Сумский национальный аграрный ун-т, 2015. Т. 4. С. 321–335. EDN VDNJWL.

9. Куленцан А. Л., Марчук Н. А. Влияние на человека загрязняющих веществ в г. Москва // Известия высших учебных заведений. Серия: Химия и химическая технология. 2022. Т. 65, № 9. С. 129–137. <https://doi.org/10.6060/ivkkt.20226509.6619>.

10. Волвенкина К. В., Коновальцева З. С. Анализ изотермы сорбции раствора фенола отходами переработки зерновых культур // Юность и знания – гарантия успеха – 2022: сборник научных статей 9-й Международной молодежной научной конференции: в 3 т. / редкол.: А. А. Горохов (отв. ред.). Курск: Университетская книга, 2022. Т. 3. С. 55–58.

11. Филова В. Ф. Общая токсикология / под ред. Б. А. Курляндского. М.: Медицина, 2002. 608 с.

12. Исследование сорбционной способности карбонатных минералов Курской области на примере сорбции ионов меди / Н. В. Фролова, О. О. Пыхова, А. В. Сазонова, В. С. Мальцева, О. В. Бурыкина // Молодежь и XXI век – 2012: материалы IV Международной молодежной научной конференции / отв. ред.: А. А. Горохов. Курск: Университетская книга, 2012. С. 231–233.

13. Афонина А. П., Бурыкина О. В. Исследование влияния химической модификации глинистых пород на очистку вод от промышленных красителей // Формирование профессиональной направленности личности специалистов – путь к инновационному развитию России: материалы Всероссийской научно-практической конференции. Пенза: Пензенский гос. аграрный ун-т, 2019. С. 18–21.

14. Будыкина Д. В., Разиньков Д. Ю., Бурыкина О. В. Исследование сорбционных способностей модифицированной глины для очистки сточных вод от промышленного красителя // Актуальные проблемы современной науки в 21 веке: сборник материалов 4-й Международной научно-практической конференции. Махачкала: Апробация, 2014. Ч. 1. С. 13–14.

15. Очистка природных вод Курской области от ионов тяжелых металлов меловыми породами местного происхождения / А. П. Афонина, В. В. Воропаева, К. А. Левина, И. А. Махрамов, О. В. Бурыкина // Современные проблемы экологии: доклады XXII Международной научно-практической конференции / под общ. ред. В. М. Панарина. Тула: Инновационные технологии, 2019. С. 19–21.

16. 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 / отв. ред.: Л. М. Миронович. Курск: Университетская книга, 2015. С. 195–196.

17. Афонина А. П., Махрамов И. А., Бурыкина О. В. Исследование сорбционной способности берёзовых опилок по отношению к красителю катионному розовому 2С // Будущее науки – 2019: сборник научных статей 7-й Международной молодежной научной конференции / отв. ред. А. А. Горохов. Курск: Университетская книга, 2019. Т. 5. С. 237–240.

18. Мальцева В. С., Бурыкина О. В., Сазонова А. В. Кинетика сорбции кислотных красителей из водных растворов карбонатными породами и отходами кожевенного производства // Безопасность жизнедеятельности. 2014. № 6 (162). С. 16–22.

19. Бурыкина О. В., Гатилова О. В. Изучение сорбционной способности древесных опилок // Современный научный вестник. 2013. Т. 6, № 1. С. 69–71. EDN VQGGTV.

20. Afonina A. P., Burykina O. V. Kinetics of the sorption of cationic pink 2 with a wood sorbent // *Russian Journal of Physical Chemistry A*. 2022. Vol. 96, no 3. P. 633–636. <https://doi.org/10.1134/S0036024422030025>.

21. Волвенкина К. В., Коновальцева З. С., Бурыкина О. В. Анализ изотермы сорбции раствора формальдегида отходами переработки зерновых культур // *Фундаментальные и прикладные исследования в области химии и экологии – 2022: сборник научных статей Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, посвященной 80-летию со дня рождения профессора Ф. Ф. Ниязи* /отв. ред. А. В. Лысенко. Курск: Университетская книга, 2022. С. 47–50.

22. Прикладная химия природных соединений / А. И. Смирнова, В. С. Антонова. СПб.: ВШТЭ СПбГУПТД, 2020. 94 с.

References

1. Meshalkin A. V., Dmitrievna T. V., Shemel I. G. *Ekologicheskoe sostoyanie gidrosfery* [Ecological state of the hydrosphere]; ed. by A. P. Korzhavoyi. Kaluga, Izd-vo nauch. lit. N. F. Bochkarevoi, 2007. 263 p.

2. Zilberman M. V., Cherepanov M. V., Pichugin E. A., eds. *Kompleksnaya otsenka vliyaniya sbrosov zagryaznyayushchikh veshchestv ob"ektov negativnogo vozdeistviya na sostoyanie gidrosfery* [A comprehensive assessment of the impact of discharges of pollutants of objects of negative impact on the state of the hydrosphere]. *Ekologiya urbanizirovannykh territorii = Ecology of urbanized territories*, 2021, no. 3, pp. 71–76. <https://doi.org/10.24412/1816-1863-2021-3-71-76>

3. Fatyanova E. A., Maltseva V. S., Burykina O. V. *Ekologicheskoe obsledovanie prudov g. Kurska i Kurskogo vodokhranilishcha* [Ecological survey of the ponds of Kursk and the Kursk reservoir]. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Tekhnika i tekhnologii = Proceedings of the Southwest State University. Series: Engineering and Technology*, 2012, no. 2, pt. 3, pp. 270–274.

4. Burykina O. V., Maltseva V. S. [Assessment of the composition of surface and groundwater in the vicinity of Kursk]. *Nauchnoe obespechenie agropromyshlennogo proizvodstva. Materialy Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii* [Scientific support of agro-industrial production. Materials of the International scientific and practical Conference]; ed. by of I. Ya. Pigorev. Kursk, Kursk St. Agricultural Acad. named after Professor I. I. Ivanov, 2010, pt. 2, pp. 287–290. (In Russ.)

5. Zelenkova T. I., Khobotova S. N., Maltseva V. S., Burykina O. V. [On the quality of natural waters of the Kursk water management complex]. *Problemy razvitiya agrarnogo sektora regiona. Materialy Vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii* [Problems of development of the agricultural sector of the region. Materials of the All-Russian scientific and practical conference]. Kursk, Kursk St. Agricultural Acad. named after Professor I. I. Ivanov, 2006, pt. 1, pp. 178–180. (In Russ.)

6. Burykina O. V., Maltseva V. S., Fatyanova E. A. [Organization of educational and research work of environmental students of South State University]. *Ekologicheskoe obrazovanie i okhrana okruzhayushchei sredy: Tekhnicheskie universitety v formirovanii edinogo nauchno-tekhnologicheskogo i obrazovatel'nogo prostranstva SNG. Sbornik statei* [Environmental education and environmental protection : Technical universities in the formation of a unified scientific, technological and educational space of the CIS. Collection of articles]; ed. by A. A. Aleksandrov. Moscow, Association of Technical Universities, 2014, pt. 1, pp. 98–103. (In Russ.)

7. Burykina O. V., Maltseva V. S., Fatyanova E. A. Ispol'zovanie metoda proektov pri organizatsii samostoyatel'noi i nauchno-issledovatel'skoi raboty studentov pri izuchenii distsiplin khimicheskogo profilya v YuZGU [The use of the project method in the organization of independent and research work of students in the study of chemical profile disciplines at South State University]. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta = Proceedings of the Southwest State University*, 2012, no. 4 (43), pt. 3, pp. 257–261.

8. Maltseva V. S., Fatyanova E. A., Burykina O. V. Nauchno-issledovatel'skaya rabota kak odin iz putei sovershenstvovaniya ekologicheskogo obrazovaniya studentov [Research work as one of the ways to improve environmental education of students]. *Metody resheniya ekologicheskikh problem [Methods of solving environmental problems]*; ed. by L. G. Melnik. Sumy, Sumy National Agrarian Univ., 2015, vol. 4, pp. 321–335. EDN VDNJWL.

9. Kulentsan A. L., Marchuk N. A. Vliyanie na cheloveka zagryaznyayushchikh veshchestv v g. Moskva [The influence of pollutants on humans in Moscow]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Seriya: Khimiya i khimicheskaya tekhnologiya = Proceedings of Higher Educational Institutions. Series: Chemistry and Chemical Technology*, 2022, vol. 65, no. 9, pp. 129–137. <https://doi.org/10.6060/ivkkt.20226509.6619>

10. Volvenkina K. V., Konovaltseva Z. S. [Analysis of the isotherm of sorption of phenol solution by waste from grain processing]. *Yunost' i znaniya – garantiya uspekha – 2022. Sbornik nauchnykh statei 9-i Mezhdunarodnoi molodezhnoi nauchnoi konferentsii [Youth and knowledge – guarantee of success – 2022. Collection of scientific articles of the 9th International youth scientific conference]*; ed. by A. A. Gorokhov. Kursk, Universitetskaya kniga Publ., 2022, pp. 55–58. (In Russ.)

11. Filova V. F. Obshchaya toksikologiya [General toxicology]; ed. by B. A. Kurlandsky. Moscow, Medicine Publ., 2002. 608 p.

12. Frolova N. V., Pykhova O. O., Sazonova A. V., Maltseva V. S., Burykina O. V. [Study of sorption capacity of carbonate minerals of Kursk region on the example of sorption of copper ions]. *Molodezh' i XXI vek – 2012: materialy IV Mezhdunarodnoi molodezhnoi nauchnoi konferentsii [Youth and the XXI century – 2012. Materials of the IV International Youth Scientific Conference]*; ed. by A. A. Gorokhov. Kursk, Universitetskaya kniga Publ., 2012, pp. 231–233. (In Russ.)

13. Afonina A. P., Burykina O. V. [Investigation of the influence of chemical modification of clay rocks on water purification from industrial dyes]. *Formirovanie professional'noi napravlenosti lichnosti spetsialistov – put' k innovatsionnomu razvitiyu Rossii. Materialy Vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii [Formation of professional orientation of the personality of specialists - the way to innovative development of Russia. Materials of the All-Russian scientific and practical conference]*. Penza, Penza St. Agrarian Univ. Publ., 2019, pp. 18–21. (In Russ.)

14. Budykina D. V., Razinkov D. Yu., Burykina O. V. [Investigation of sorption abilities of modified clay for wastewater treatment from industrial dye]. *Aktual'nye problemy sovremennoi nauki v 21 veke. Sbornik materialov 4-i Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii [Actual problems of modern science in the 21st century. Proceedings of the 4th International scientific and practical conference]*. Makhachkala, Aprobatsiya Publ., 2014, pp. 13–14. (In Russ.)

15. Afonina A. P., Voropaeva V. V., Levina K. A., Mahramov I. A., Burykina O. V. [Purification of natural waters of the Kursk region from heavy metal ions by chalk rocks of local origin]. *Sovremennye problemy ekologii. Doklady XXII Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii [Modern problems of ecology. Reports of the XXII International scientific and practical conference]*; ed. by V. M. Panarin. Tula, Innovatsionnye tekhnologii Publ., 2019, pp. 19–21. (In Russ.)

16. Efremova A. N., Burykina O. V. I [Investigation of the adsorption activity of the Cretaceous rock of the Kursk region]. *Fundamental'nye i prikladnye issledovaniya v oblasti khimii i ekologii. Materialy mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii studentov, aspirantov i molodykh uchennykh* [Fundamental and applied research in chemistry and ecology. Materials of the international scientific and practical conference of students, postgraduates and young scientists]; ed. by L. M. Mironovich. Kursk, Universitetskaya kniga Publ., 2015, pp. 195–196. (In Russ.)
17. Afonina A. P., Mahramov I. A., Burykina O. V. [Investigation of the sorption capacity of birch sawdust in relation to the cationic pink dye 2C]. *Budushchee nauki – 2019. Sbornik nauchnykh statei 7-i Mezhdunarodnoi molodezhnoi nauchnoi konferentsii* [The future of science – 2019. Collection of scientific articles of the 7th International Youth Scientific Conference]; ed. by A. A. Gorokhov. Kursk, Universitetskaya kniga Publ., 2019, pp. 237–240. (In Russ.)
18. Maltseva V. S., Burykina O. V., Sazonova A. V. Kinetika sorbtzii kislotnykh krasitelei iz vodnykh rastvorov karbonatnymi porodami i otkhodami kozhevennogo proizvodstva [Kinetics of sorption of acid dyes from aqueous solutions by carbonate rocks and leather production waste]. *Bezopasnost' zhiznedeyatel'nosti = Safety of life*, 2014, no. 6(162), pp. 16–22.
19. Burykina O. V., Gatilova O. V. Izuchenie sorbtzionnoi sposobnosti drevesnykh opilok [Study of sorption capacity of sawdust]. *Sovremennyyi nauchnyi vestnik = Modern Scientific Bulletin*, 2013, vol. 6, no. 1, pp. 69–71. EDN VQGGTV
20. Afonina A. P., Burykina O. V. Kinetics of the sorption of cationic pink 2 with a Wood Sorbent. *Russian Journal of Physical Chemistry A*, 2022, vol. 96, no. 3, pp. 633–636. <https://doi.org/10.1134/S0036024422030025>
21. Volvenkina K. V., Konovaltseva Z. S., Burykina O. V. [Analysis of the isotherm of sorption of formaldehyde solution by grain processing waste]. *Fundamental'nye i prikladnye issledovaniya v oblasti khimii i ekologii – 2022. Sbornik nauchnykh statei Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii studentov, aspirantov i molodykh uchennykh, posvyashchennoi 80-letiyu so dnya rozhdeniya professora F. F. Niyazi* [Fundamental and applied research in chemistry and ecology – 2022. Collection of scientific articles of the International scientific and Practical Conference of students, postgraduates and young scientists dedicated to the 80th anniversary since the birth of Professor F. F. Niyazi]; ed. by A. V. Lysenko. Kursk, Universitetskaya kniga Publ., 2022, pp. 47–50. (In Russ.)
22. Smirnova A. I., Antonova V. S. Prikladnaya khimiya prirodnnykh soedinenii [Applied chemistry of natural compounds]. St. Petersburg, VSTE SPbGUPTD, 2020. 94 p.

Информация об авторах / Information about the Authors

Бурыкина Оксана Владимировна, кандидат химических наук, доцент кафедры фундаментальной химии и химической технологии, Юго-Западный государственный университет, г. Курск, Российская Федерация, e-mail: buoksana@yandex.ru, ORCID: 0000-0003-3023-8207

Oksana V. Burykina, Cand. of Sci. (Chemical), Associate Professor of the Department of Fundamental Chemistry and Chemical Technology, Southwest State University, Kursk, Russian Federation, e-mail: buoksana@yandex.ru, ORCID: 0000-0003-3023-8207

Коновальцева Злата Сергеевна, студент кафедры фундаментальной химии и химической технологии, Юго-Западный государственный университет, г. Курск, Российская Федерация, e-mail: zlatakonovaltceva@mail.ru

Волвенкина Кристина Владимировна, студент кафедры фундаментальной химии и химической технологии, Юго-Западный государственный университет, г. Курск, Российская Федерация, e-mail: christinavolvenkina@gmail.com

Zlata S. Konovaltseva, Student of the Department of Fundamental Chemistry and Chemical Technology, Southwest State University, Kursk, Russian Federation, e-mail: zlatakonovaltceva@mail.ru

Kristina V. Volvenkina, Student of the Department of Fundamental Chemistry and Chemical Technology, Southwest State University, Kursk, Russian Federation, e-mail: christinavolvenkina@gmail.com