

Научная статья
УДК 658.567.1
doi:10.37614/2949-1215.2024.15.1.021

ИЗУЧЕНИЕ СОРБЦИОННЫХ СВОЙСТВ ДЕФЕКТА — ОТХОДА САХАРНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Инна Витальевна Доминиковская¹, Людмила Анатольевна Шибека²

^{1,2}Белорусский государственный технологический университет, Минск, Республика Беларусь

¹*idominikovskaya@bk.ru*

²*Shibekal@mail.ru*

Аннотация

Приведён химический состав одного из масштабных по объёмам отходов сахарной промышленности — дефеката. Представлен спектр инфракрасного поглощения дефеката, подтверждающий значительное присутствие в составе отхода карбоната кальция, что обусловлено особенностями технологического процесса производства сахара. Результаты исследования влияния высокотемпературной обработки дефеката на его сорбционные свойства показали, что максимальная сорбционная ёмкость в отношении ионов никеля наблюдается при температуре обработки образца, равной 300 °С. С использованием метода ИК-спектроскопии показаны изменения, происходящие с дефекатом после его взаимодействия с ионами никеля.

Ключевые слова:

дефекат, отход сахарной промышленности, сорбент, ИК-спектр, сорбция, ионы тяжёлых металлов, никель

Для цитирования:

Доминиковская И. В., Шибека Л. А. Изучение сорбционных свойств дефеката — отхода производства сахара // Труды Кольского научного центра РАН. Серия: Технические науки. 2024. Т. 15, № 1. С. 137–141. doi:10.37614/2949-1215.2024.15.1.021.

Original article

STUDYING THE SORPTION PROPERTIES OF DEFECATE — WASTE SUGAR INDUSTRY

Inna V. Dominikovskaya¹, Ludmila A. Shibeka²

^{1,2}Belarusian State Technological University, Minsk, Republic of Belarus

¹*idominikovskaya@bk.ru*

²*Shibekal@mail.ru*

Abstract

The chemical composition of one of the large-scale wastes of the sugar industry — defecate — is given. The given spectrum of the polar association of the defecate confirms the presence of carbonate residues in the waste composition, which determines the features of the technological process of sugar production. The results of studies of high-temperature treatment of defecation showed that the highest sorption capacity for nickel ions is observed at a sample treatment temperature of 300 °C. Using the IR spectroscopy method, the changes that occur in the defect after its interaction with nickel ions are shown.

Keywords:

defecate, sugar industry waste, sorbent, IR-spectrum, sorption, heavy metal ions, nickel

For citation:

Dominikovskaya I. V., Shibeka L. A. Studying the sorption properties of defecate — waste sugar industry // Transactions of the Kola Science Centre of RAS. Series: Engineering Sciences. 2023. Vol. 15, No. 1. P. 137–141. doi:10.37614/2949-1215.2024.15.1.021.

Введение

Предприятия, выпускающие отдельные группы пищевой продукции (мясной, молочной и др.), характеризуются определённой спецификой воздействия на атмосферный воздух, водные и земельные ресурсы. Для снижения негативного воздействия таких объектов на окружающую среду необходимо иметь данные о количественном и качественном составе выбросов загрязняющих веществ, сточных вод и отходов, образующихся в процессе производства продукции.

К числу масштабных по объёмам отходов производства сахара относятся: жом, дефекат, меласса и транспортно-моечный осадок. В отношении жома и мелассы предложены и реализованы на практике технические решения, позволяющие использовать данные отходы в качестве вторичных ресурсов

и получать из них различные продукты: из жома — пищевой пектин, корма скоту, из мелассы — органические кислоты, корма и премиксы для сельскохозяйственных животных [1]. Степень вовлечения дефеката и транспортно-мочного осадка во вторичное использование остаётся низкой.

В работе проведена оценка возможности применения дефеката в качестве сорбента для очистки сточных вод от ионов никеля. Рассматриваемый отход образуется в процессе дефекации (очистки) сахарного сока от примесей. Для дефекации сахарного сока используется негашёная известь, которая окисляет и коагулирует нежелательные соединения, содержащиеся в сырье, осажая их на дно аппарата в виде осадка (дефеката). Количество отхода составляет 8–12 % от массы переработанной свёклы [2]. Согласно классификатору отходов [3], дефекат (код отхода — 1141202) относится к блоку 1 «Отходы растительного и животного происхождения», который соответствует классу неопасных, что расширяет области его потенциального использования в качестве вторичных ресурсов. Известно, что из отходов пищевой промышленности и сельского хозяйства (косточки плодовых деревьев, листья кукурузы, древесина и кора различных видов деревьев, стержни кукурузных початков и т. д. [4–8]) можно получать сорбционные материалы.

Целью работы являлось изучение сорбционных свойств дефеката в отношении ионов никеля, содержащихся в воде.

Материалы и методы

В качестве объекта исследований в работе выступал частично обезвоженный дефекат — отход производства сахара, образующийся на одном из предприятий Республики Беларусь. При исследовании химического состава дефеката использовалась водная вытяжка из отхода, полученная при массовом соотношении отход и дистиллированная вода 1 к 3. В полученной вытяжке определялось содержание следующих анионов и катионов: гидрокарбонаты, хлориды, сульфаты, нитраты, фосфаты, ионы металлов (железа, цинка, хрома, никеля, калия). Содержание гидрокарбонат-ионов, катионов цинка и никеля определяли титриметрическим методом, хлоридов, нитратов, катионов калия — потенциометрическим методом, сульфатов, фосфатов, катионов хрома и железа — фотоколориметрическим [9, 10]. С помощью потенциометрического метода оценивалась pH водной вытяжки. Влажность и зольность отхода определяли гравиметрическим методом.

Изменение химического состава дефеката после проведения процесса сорбционной очистки сточных вод от ионов никеля оценивали с помощью метода ИК-спектроскопии. Исследование проводили на ИК-спектрометре с Фурье-преобразованием фирмы NEXUS E.S.P. (Thermo Scientific, США) в спектральном диапазоне 4000–400 см⁻¹. Подготовка образцов проходила методом запрессовки исследуемого вещества с галогенидом щелочного металла. Регистрация ИК-спектров проводилась при 32-кратном сканировании и разрешении 4 см⁻¹. Идентификация полос поглощения в исследуемых образцах проводилась путём сопоставления полученных ИК-спектров с библиотечными базами [11].

Для оценки влияния термической обработки дефеката на сорбционные свойства указанный отход подвергали сушке в сушильном шкафу марки SNOL 58/350 INS 11 при различной температуре: 100 °С (образец 1), 200 °С (образец 2) и 300 °С (образец 3).

Исследование сорбционных свойств образцов дефеката, полученных в результате термической обработки, проводилось на модельных сточных водах, содержащих ионы никеля в диапазоне начальных концентраций от 0,0017 до 0,0838 моль/дм³. Сорбционные свойства образцов отхода оценивали в статических условиях, для чего в химический стакан помещали исследуемый образец, затем добавляли раствор никеля с известной концентрацией. Пробу периодически перемешивали, и по прошествии 60 мин производили разделение смеси методом фильтрования. Концентрацию ионов никеля в фильтрате определяли титриметрическим методом [9]. По результатам содержания ионов никеля в начале и в конце эксперимента рассчитывали сорбционную ёмкость материала.

Результаты исследований

Установлено, что дефекат имеет влажность 26,7 % и зольность 63,4 %, следовательно, в процессе обезвоживания дефеката значительно снижается влажность отхода. Величина зольности образца

свидетельствует о том, что в составе дефеката присутствуют как органические, так и неорганические компоненты; рН водной вытяжки составляет 5,84, что обусловлено присутствием кислотных остатков в составе отхода.

Содержание гидрокарбонат-ионов составило 488,8 мг/кг дефеката, сульфат-ионов — 439,2 мг/кг, нитрат-ионов — 57,6 мг/кг, фосфат-ионов — 69,7 мг/кг, хлорид-ионов — 2,4 мг/кг, ионов железа — 18,1 мг/кг, калия — 14,4 мг/кг, никеля — 1,6 мг/кг, цинка — 1,2 мг/кг, хрома — 0,4 мг/кг. Анализ отдельных ионов свидетельствует о высоком содержании гидрокарбонатов, что обусловлено добавлением на стадии defeкации сахарного сока негашёной извести. Присутствие в составе дефеката других катионов и анионов связано с условиями выращивания свёклы (как основного вида сырья для производства сахара): типом почв, степенью её загрязнения, количеством вносимых удобрений и других средств обработки сельскохозяйственных культур.

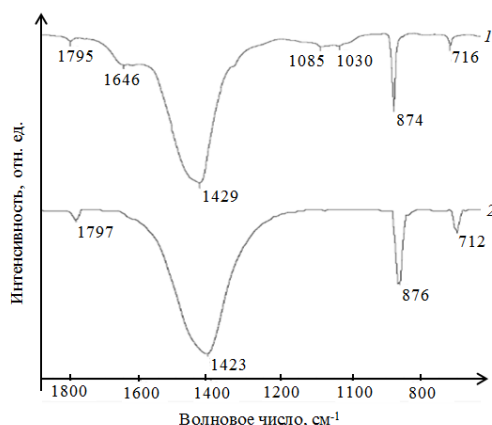


Рис. 1. Фрагмент спектров инфракрасного поглощения дефеката (1) и кальцита (2)

716 см^{-1} характеризуются наличием арагонита, являющегося разновидностью кальцита. Полосы в области 1000–1100 см^{-1} могут быть обусловлены как наличием карбонатов, так и других примесей (например, силикатов). Присутствие полос поглощения в области 1640–1710 см^{-1} свидетельствует о наличии C=C-связей в составе отхода, обусловленного наличием органических соединений.

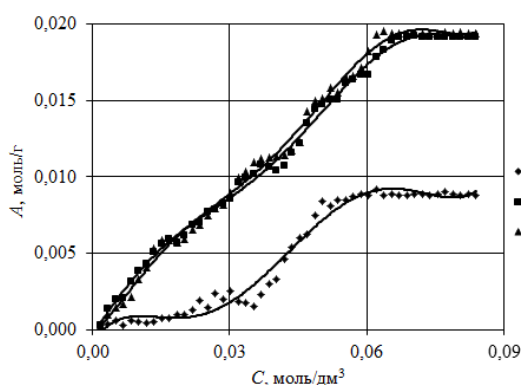


Рис. 2. Изотермы сорбции ионов никеля дефекатом, обработанным при различных температурах

для образцов, обработанных при температуре 200 и 300 °С. Дальнейшее увеличение концентрации никеля в воде не приводит к росту сорбционной ёмкости отхода.

Полученные результаты исследования состава дефеката подтверждены ИК-спектрами отхода. На рис. 1 представлены фрагменты спектров инфракрасного поглощения дефеката, обработанного при температуре 100 °С, и кальцита. Характерными частотами колебаний карбоната кальция являются 1797, 1423, 876 и 712 см^{-1} (рис. 1, кривая 1). На ИК-спектре дефеката (рис. 1, кривая 2) отчётливо видны полосы поглощения (1429, 874 см^{-1}), обусловленные содержанием в составе отхода значительного количества CaCO_3 . Смещение на спектре полосы карбонильной C=O-группы (1795 см^{-1}) в коротковолновую часть спектра свидетельствует о донорно-акцепторном взаимодействии органических веществ с поверхностью извести [12].

Характерной частотой колебания карбоната кальция (кальцита) в спектре дефеката является полоса 716 см^{-1} . Полосы поглощения в диапазонах 1085–1087 и 712–

Для изучения влияния температурной обработки отхода на сорбционные свойства была получена зависимость (рис. 2), характеризующая изменение сорбционной ёмкости (A , моль/г) образцов дефеката, обработанных при различных температурах, в зависимости от исходного содержания ионов никеля в растворе (C , моль/дм³).

Установлено, что условия термической обработки влияют на сорбционные свойства дефеката в отношении ионов никеля. Для образца 1, обработанного при температуре 100 °С, наблюдается два плато в ходе кривой изотермы сорбции. В диапазоне концентраций ионов никеля от 0,0017 до 0,0602 моль/дм³ происходит плавное увеличение сорбционной ёмкости

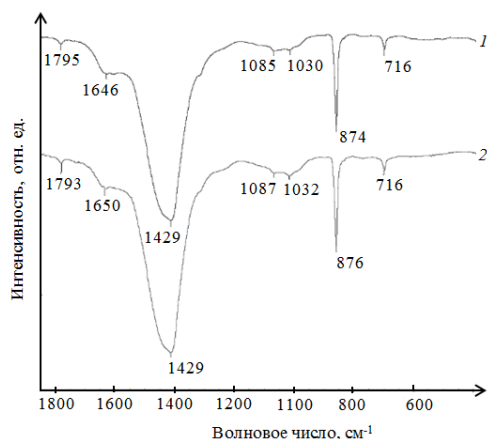


Рис. 3. Фрагмент ИК-спектров дефекта до (1) и после (2) сорбции ионов никеля

подтверждающих наличие карбонатов и органических соединений со связью C=C. Следовательно, имеет место протекание физической адсорбции и образование координационных связей металла с функциональными группами сорбента.

Выводы

Установлено, что в составе дефекта наблюдается высокое содержание карбонатов и гидрокарбонатов. В отходе присутствуют также ряд неорганических и органических соединений. Показано, что максимальная сорбционная ёмкость в отношении ионов никеля имеет место при использовании в качестве сорбента дефекта, обработанного при температуре 300 °С, что обусловлено образованием дополнительных активных центров.

Список источников

1. Сапронов А. Р., Сапронова Л. А., Ермолаев С. В. Технология сахара: учеб. пособие. СПб.: Профессия, 2013. 296 с.
2. Большая советская энциклопедия. М.: Сов. энцикл., 1972. Т. 8. С. 168.
3. Об утверждении, введении в действие общегосударственного классификатора Республики Беларусь: постановление Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь от 09.09.2019 № 3-Т. URL: <https://pravo.by/document/?guid=12551&p0=W21934631p&p1=1> (дата обращения: 11.03.2024).
4. Saeed A., Akhter M. W., Iqbal M. Removal and recovery of heavy metals from aqueous solution using papaya wood as a new biosorbent // Separation and Purification Technology. 2005. Vol. 45, No. 1. P. 25–31.
5. Babarinde N. A. A., Babalola J. O., Sanni S. O. Isotherm and thermodynamic studies of the biosorption of Cd (II) from solution by maize leaf // Intern. J. Physical Sciences. 2007. Vol. 2 (8), No. 2. P. 207–211.
6. Пирузян А. В., Боковикова Т. Н., Найденов Ю. В. Перспективный сорбент на основе отходов растительного сырья для очистки жиросодержащих сточных вод // Фундаментальные исследования. 2008. № 10. С. 62.
7. Kumara A., Walpola B. C., Yoon M.-H. Banana Peel: A Green Solution for Metal Removal from Contaminated Waters // Korean J. Environmental Agriculture. 2013. Vol. 32, No. 2. P. 108–116.
8. Bhattacharya A. K., Mandal S. N., Das S. K. Adsorption of Zn (II) from aqueous solution by using different adsorbents // Chemical Engineering J. 2006. Vol. 123, Iss. 1–2. P. 43–51.
9. Лихачева А. В., Шибека Л. А. Химия окружающей среды. Лабораторный практикум: учеб.-метод. пособие. Минск: БГТУ, 2011. 204 с.

10. Жарская Т. А., Лихачева А. В. Мониторинг окружающей среды. Лабораторный практикум: учеб.-метод. пособие. Минск: БГТУ, 2006. 214 с.
11. Коровкин М. В. Инфракрасная спектроскопия карбонатных минералов: учеб. пособие. Томск: ТПУ, 2016. 96 с.
12. Levine I. N. Molecular spectroscopy. Wiley, 1975. 499 p.

References

1. Sapronov A. R., Sapranova L. A., Ermolaev S. V. *Tehnologiya sahara* [Sugar technology]. Saint Petersburg, Professiya, 2013, 296 p.
2. *Bol'shaya sovetskaya enciklopediya* [Great Soviet Encyclopedia]. Moscow, Sovetskaya enciklopediya, 1972, Vol. 8, pp. 168.
3. *Ob utverzhdenii, vvedenii v dejstvie obshchegosudarstvennogo klassifikatora Respubliki Belarus': postanovlenie Ministerstva prirodnih resursov i ohrany okruzhayushchej sredy Respubliki Belarus', 9 sent. 2019 g., No. 3-T* [On Approval, Enactment of the National Classifier of the Republic of Belarus: Decision of the Ministry of Natural Resources and Environmental Protection of the Republic of Belarus, 9 September. 2019, No. 3-T]. (In Russ.). Available at: <https://pravo.by/document/?guid=12551&p0=W21934631p&p1=1> (accessed 11.03.2024).
4. Saeed A., Akhter M. W., Iqbal M. Removal and recovery of heavy metals from aqueous solution using papaya wood as a new biosorbent. *Separation and Purification Technology*, 2005, Vol. 45, No. 1, pp. 25–31.
5. Babarinde N. A. A., Babalola J. O., Sanni S. O. Isotherm and thermodynamic studies of the biosorption of Cd (II) from solution by maize leaf. *International Journal of Physical Sciences*, 2007, Vol. 2 (8), No. 2, pp. 207–211.
6. Piryzayn A. V., Bokovikova T. N., Naydenov Y. V. Perspektivny sorbent na osnove othodov rastitelnogo syrya dlya ochistki zhirosoderzhshih stochnyh vod [A promising sorbent based on plant waste for the treatment of fat-containing wastewater]. *Fundamental'nye issledovaniya* [Basic Research], 2008, No. 10, pp. 62. (In Russ.).
7. Kumara A., Walpola B. C., Yoon M.-H. Banana Peel: A Green Solution for Metal Removal from Contaminated Waters. *Korean Journal of Environmental Agriculture*, 2013, Vol. 32, No. 2, pp. 108–116.
8. Bhattacharya A. K., Mandal S. N., Das S. K. Adsorption of Zn (II) from aqueous solution by using different adsorbents. *Chemical Engineering Journal*, 2006, Vol. 123, Iss. 1–2, pp. 43–51.
9. Lihacheva A. V., Shibeka L. A. *Himiya okruzhayushchej sredy. Laboratornyj praktikum* [Chemistry of the environment. Laboratory workshop]. Minsk, BGТУ, 2011, 204 p.
10. Zharskaya T. A., Lihacheva A. V. *Monitoring okruzhayushchej sredy. Laboratornyj praktikum* [Environmental monitoring. Laboratory workshop]. Minsk, BGТУ, 2006, 214 p.
11. Kоровкин М. В. *Infракрасная спектроскопия карбонатных минералов* [Infrared spectroscopy of carbonate minerals]. Tomsk, TPU, 2016, 96 p.
12. Levine I. N. Molecular spectroscopy. Wiley, 1975. 499 p.

Информация об авторах

И. В. Доминиковская — магистрант;
Л. А. Шибека — кандидат химических наук, доцент.

Information about the authors

I. V. Dominikovskaya — Master's Degree Student;
L. A. Shibeka — PhD (Chemistry), Associate Professor.

Статья поступила в редакцию 05.04.2024; одобрена после рецензирования 10.04.2024; принята к публикации 12.04.2024.
The article was submitted 05.04.2024; approved after reviewing 10.04.2024; accepted for publication 12.04.2024.