

# МЕТОДОЛОГІЯ ОЦІНЮВАННЯ ЯКОСТІ ТОВАРІВ

УДК 544.723.2:633.61 DOI: [https://doi.org/10.31617/tr.knute.2019\(32\)04](https://doi.org/10.31617/tr.knute.2019(32)04)

**Віта ГАЛИШ** к. х. н., ст. викладач кафедри екології та технології рослинних полімерів Національного технічного університету України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського"  
*E-mail: v.galysh@gmail.com*  
ORCID: 0000-0001-7063-885X просп. Перемоги, 37, м. Київ, 03056, Україна

**Богдан ПАСАЛЬСЬКИЙ** к. х. н., доцент, доцент кафедри товарознавства, управління безпеністю та якістю Київського національного торговельно-економічного університету  
*E-mail: pasalskiy@gmail.com*  
ORCID: 0000-0002-0811-7620 вул. Кіото, 19, м. Київ, 02156, Україна

**Надія ЧИКУН** ст. викладач кафедри товарознавства, управління безпеністю та якістю Київського національного торговельно-економічного університету  
*E-mail: nadiya.chikun@gmail.com*  
ORCID: 0000-0002-7328-4628 вул. Кіото, 19, м. Київ, 02156, Україна

## СОРБЦІЙНІ ВЛАСТИВОСТІ ЛІГНОЦЕЛЮЛОЗНИХ ВІДХОДІВ ПЕРЕРОБКИ ЦУКРОВОЇ ТРОСТИНИ

*Досліджено хімічний склад та сорбційні властивості відходів переробки цукрової тростини. Вивчено структурні властивості багаси та соломи цукрової тростини, як-от: морфологія, питома поверхня, об'єм адсорбційних пор. Досліджено сорбційну здатність лігноцелюлозних відходів щодо синтетичного барвника метиленового синього та йонів важких металів ( $Fe^{3+}$  та  $Cu^{2+}$ ). Показано, що за ефективністю вилучення з водних розчинів токсикантів органічної та неорганічної природи багаса й солома цукрової тростини не поступаються відомим аналогам.*

*Ключові слова:* цукрова тростина, багаса, солома, метиленовий синій, йони важких металів, ефективність сорбції.

*Галыш В., Пасальский Б., Чикун Н. Сорбционные свойства лигноцеллюлозных отходов переработки сахарного тростника. Исследованы химический состав и сорбционные свойства отходов переработки сахарного тростника. Изучены структурные свойства багассы и соломы сахарного тростника, такие как морфология, удельная поверхность, объем адсорбционных пор. Исследована сорбционная способность лигноцеллюлозных отходов по отношению к синтетическому красителю*

© Віта Галиш, Богдан Пасальський, Надія Чикун, 2019

метиленовому синему і іонам важких металів ( $Fe^{3+}$  і  $Cu^{2+}$ ). Показано, що по ефективності извлечения из водных растворов токсикантов органической и неорганической природы багасса и солома сахарного тростника не уступают известным аналогам.

*Ключевые слова:* сахарный тростник, багасса, солома, метиленовый синий, ионы тяжелых металлов, эффективность сорбции.

**Постановка проблеми.** Швидкий промисловий розвиток сприяє забрудненню навколишнього середовища токсичними сполуками неорганічної та органічної природи, які негативно впливають на екосистему [1; 2]. В останнє десятиліття охорона навколишнього середовища стала пріоритетом для вчених багатьох країн. Метою очищення стічних вод є зменшення скиду забруднювальних речовин у навколишнє середовище.

Адсорбція вважається одним із найбільш прийнятних методів видалення токсикантів з водних середовищ. Її ефективність залежить від пористості сорбенту та наявності поверхневих функціональних груп як ефективних центрів адсорбції. Основною проблемою звичайних сорбентів із розвиненою пористою структурою, наприклад активованого вугілля, є погіршення їхньої ефективності через наявність у воді твердих частинок, які можуть потрапляти в пори та знижувати адсорбційну здатність. Іншим значним недоліком таких сорбентів є їхня вартість.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** До традиційних методів очищення води для видалення йонів важких металів належать фізико-хімічні та електрохімічні. Коагуляцію та реагентне осадження у своїх працях дослідили М. М. Michel зі співавторами [3], йонообмін – Y. Hu і T. H. Boyer [4], електроліз – D. G. Kim зі співавторами [5] та мембранну фільтрацію – K. C. Khulbe і T. Matsuura [6]. Водночас відомі сучасні методи очищення води за фератною технологією представлено міжнародною командою вчених: J. D. Carr, I. V. Goncharova, D. A. Golovko, C. W. McLaughlin та ін. [7]. Незважаючи на ефективність, зазначені методи мають також і недоліки, як-от: висока витрата реагентів, утворення шкідливих осадів, значні експлуатаційні витрати та енергоспоживання.

В останні роки зросла зацікавленість учених до біосорбції з застосуванням живої (мікроорганізмів) та неживої (рослинних матеріалів) біомаси [8; 9]. Обробка води за допомогою живої біомаси широко не застосовується через те, що вирощування мікроорганізмів – дорогий процес. Лігноцелюлозні матеріали, як-от: деревина й сільськогосподарські культури, що містять целюлозу, геміцелюлозу, лігнін та інші компоненти в невеликих кількостях, виявляють сорбційні властивості завдяки багатоконпонентному складу та наявності різних активних функціональних груп на їхній поверхні.

Цукрова багаса (залишок стебла після вилучення соку) та солома (листя) цукрової тростини – побічні продукти, які можуть розглядатися як перспективні сорбенти для очищення води [10].

*Мета роботи* – визначення хімічного складу багаси та соломи цукрової тростини й дослідження їхніх структурно-сорбційних властивостей щодо синтетичного барвника та йонів важких металів.

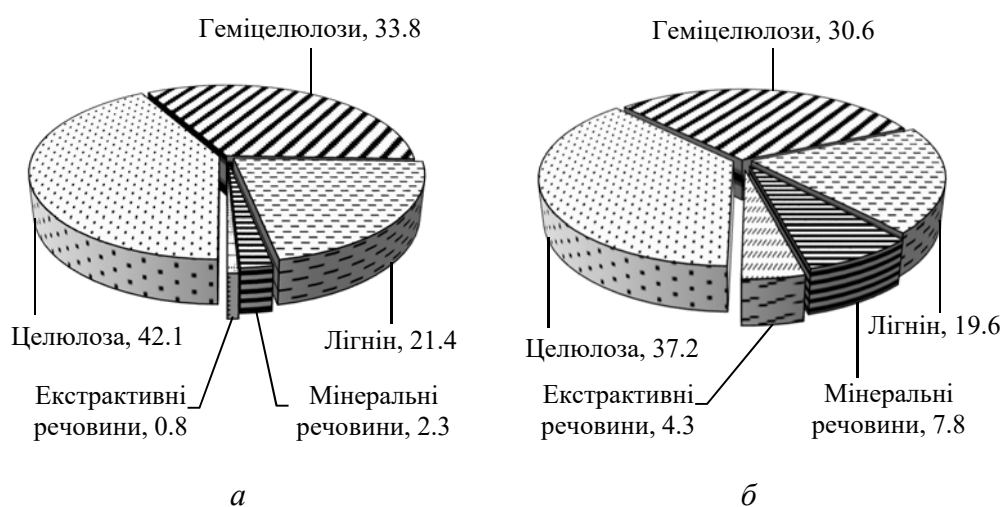
**Матеріали та методи.** Як сорбент використано подрібнені до розмірів 0.5–1 мм багасу та солому цукрової тростини, хімічний склад яких визначено за стандартними методиками [11].

Структуру вихідних матеріалів досліджено з використанням інфрачервоної спектроскопії перетворення Фур'є (ІСПФ). Спектри реєстрували на спектрофотометрі *Perkin-Elmer Spectrum 100 FTIR* у діапазоні 600–4000  $\text{см}^{-1}$ . Морфологію зразків вивчено методом сканувальної електронної мікроскопії з використанням мікроскопа *FE-SEM S-4800* (*Hitachi*, Японія). Питому площу поверхні визначили адсорбцією/десорбцією азоту за температури  $-272\text{ }^\circ\text{C}$  з використанням аналізатора *NOVA 2200* (*Quantachrome*, США), об'єм сорбційних пор – адсорбцією парів бензену в ексікаторі [12].

Сорбцію синтетичного органічного барвника метиленового синього встановлено за кімнатної температури з використанням модельних розчинів концентрацій 30–900  $\text{мг/дм}^3$ . Наважка сорбенту – 0.20 г, об'єм розчину – 50  $\text{см}^3$ . Вихідну і рівноважну концентрації метиленового синього визначено на спектрофотометрі *Specord M-40* (*Carl Zeiss*, Німеччина) при довжині хвилі 664 нм.

Сорбційну здатність щодо йонів  $\text{Fe}^{3+}$  та  $\text{Cu}^{2+}$  вивчали в статичних умовах з використанням модельних розчинів солей  $\text{NH}_4\text{Fe}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$  і  $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ . Концентрації катіонів  $\text{Fe}^{3+}$  та  $\text{Cu}^{2+}$  становили 10–50 та 50–250  $\text{мг/дм}^3$  відповідно, наважка сорбенту – 0.5 г, об'єм розчину – 50  $\text{см}^3$ , тривалість сорбції – 30 хв. Концентрації сорбції йонів  $\text{Fe}^{3+}$  встановлено спектрофотометричним методом ( $\lambda = 510\text{ нм}$ ), а йонів  $\text{Cu}^{2+}$  – йодометричним [13].

**Результати дослідження.** Результати визначення хімічного складу багасу та соломи цукрової тростини представлено у вигляді діаграм на *рис. 1*.



*Рис. 1.* Хімічний склад (%) відходів переробки цукрової тростини:  
а – багас; б – солома

З огляду на наведені результати можна стверджувати, що основними складовими хімічного складу відходів переробки цукрової тростини є структурні компоненти, а саме: холоцелюлоза (целюлоза і геміцелюлози) та лігнін. Обидва матеріали містять приблизно однакову кількість полісахариду та ароматичної складової. Проте вміст мінеральних та екстракційних речовин є дещо більшим у соломі цукрової тростини.

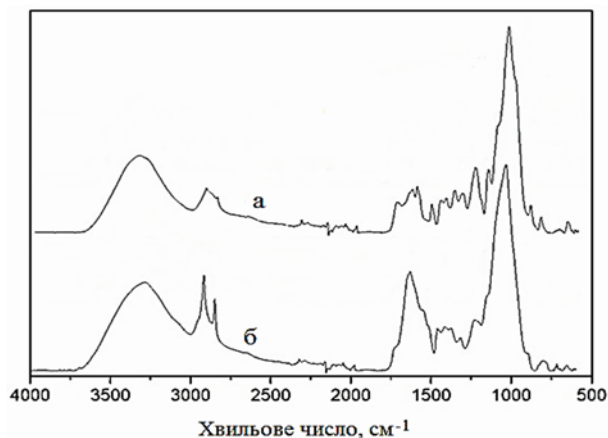


Рис. 2. ІСПФ-спектри відходів переробки цукрової тростини:  
а – багаса; б – солома

Спектри ІСПФ біомаси цукрової тростини, представлені на рис. 2, свідчать також про присутність як лігніну, так і полісахаридів у досліджених зразках. Наявність лігніну підтверджує характерна смуга поглинання при 1510–1513  $\text{cm}^{-1}$ , що відповідає деформаційним коливанням ароматичних кілець, і смуга валентних коливань при 900–700  $\text{cm}^{-1}$ . Піки при 2924 та 2851  $\text{cm}^{-1}$  можна віднести до коливань

СН груп  $-\text{CH}_2-$  та  $-\text{CH}_3$  як лігніну, так і полісахаридів, а смуги в діапазоні 1463–1430  $\text{cm}^{-1}$  – до асиметричних коливань СН груп у  $-\text{CH}_2-$  та  $-\text{CH}_3$ . Пік при 1034  $\text{cm}^{-1}$  характеризує коливання С–О і С–С або С–ОН полісахаридів. Також ідентифіковані валентні коливання водневих зв'язків спиртового та фенольного типів (3000–3700  $\text{cm}^{-1}$ ) [14–16].

Мікрофотографії поверхні біомаси цукрової тростини на рис. 3, показують, що обидва матеріали мають складну морфологію. Поверхня матеріалів є неоднорідною й містить макро- та мікропори.

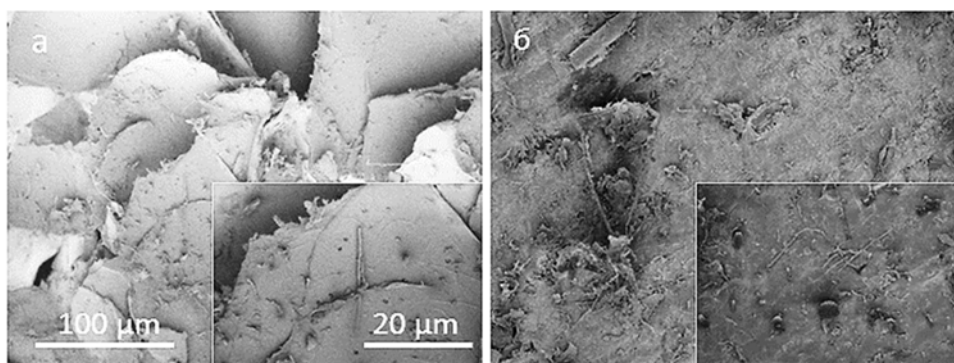


Рис. 3. Мікрофотографії поверхні відходів переробки цукрової тростини:  
а – багаса; б – солома

Методи адсорбції/десорбції азоту та сорбції парів бензену використані для дослідження пористої структури багаси та соломи цукрової тростини. Значення питомої поверхні та об'єму пор представлені в табл. 1.

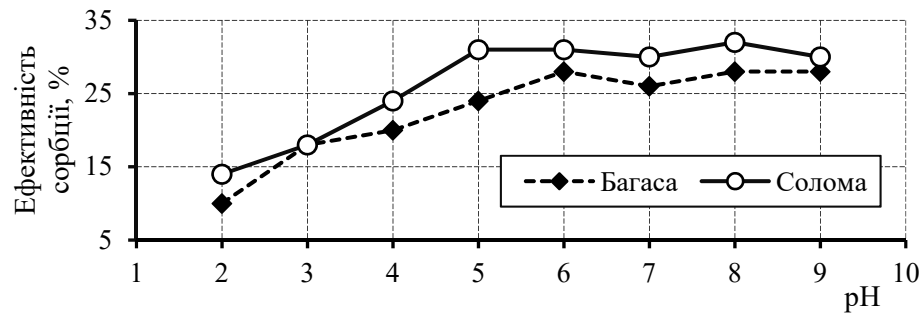
Таблиця 1

## Характеристика поверхні та щільності відходів переробки цукрової тростини

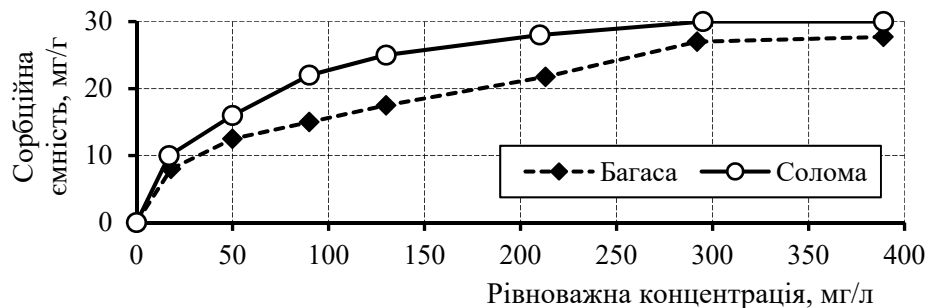
Параметр	Багаса	Солома
Питома поверхня, м <sup>2</sup> /г	1.35	1.93
Об'єм адсорбційних пор, мм <sup>3</sup> /г	80	50
Об'єм мікропор, мм <sup>3</sup> /г	0.43	0.64

Попри меншу питому поверхню багаса цукрової тростини має більший об'єм адсорбційних пор. Це може бути пов'язано з тим, що в неї більший вміст полісахаридної складової, завдяки чому відбувається набування матеріалу в середовищі парів бензену з додатковою їх сорбцією.

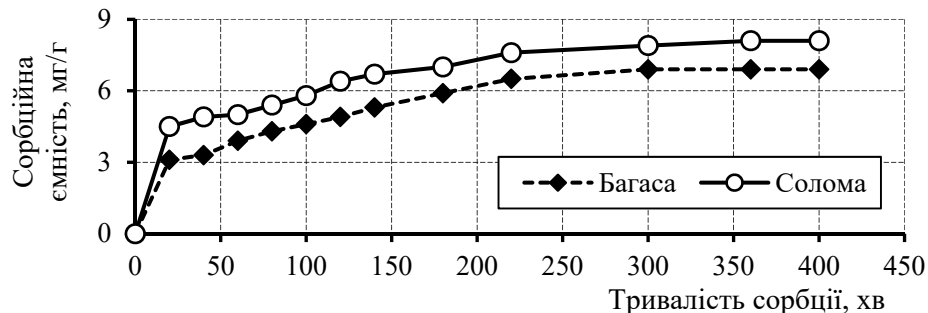
Сорбцію метиленового синього на рослинних матеріалах досліджено як залежність від рН, концентрації барвника та терміну контакту (рис. 4).



а



б



в

Рис. 4. Ефективність вилучення метиленового синього від рН водного розчину (а) та сорбційної ємності від рівноважної концентрації барвника (б) і тривалості сорбції (в)

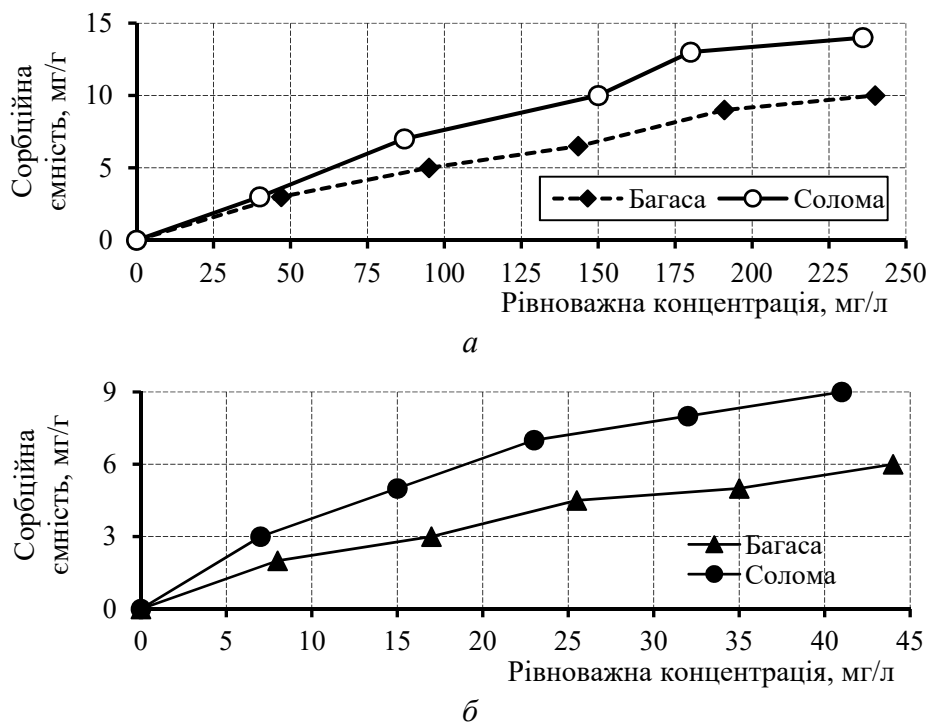
Значення рН розчину – один із найважливіших параметрів, який впливає на процес адсорбції. Показано, що низький рівень рН призводить до зниження ефективності сорбції синтетичного барвника. Максимальна сорбція досягається при рН 6–7 (див. *рис. 4, а*). Підвищення рівня рН розчину барвника сприяє видаленню метиленового синього. Це відбувається завдяки тому, що поверхня рослинних матеріалів набуває негативного заряду із підвищенням рН через депротонування функціональних груп, які мають спорідненість до катіонних барвників.

Результати дослідження впливу концентрації барвника на сорбційну здатність лігноцелюлозних матеріалів вказують на те, що сорбційна ємність багаси та соломи за метиленовим синім становить 27.7 та 30.0 мг/г відповідно (див. *рис. 4, б*). Більша сорбційна ємність відповідає матеріалу з більшою питомою поверхнею.

Протягом перших 20 хв швидкість поглинання барвника на досліджених матеріалах є максимальною (див. *рис. 4, в*). Подальше зменшення концентрації метиленового синього відбувається більш повільно до досягнення рівноважного значення, яке досягається протягом 300 хв від початку сорбції.

Загалом, можна зробити висновок, що лігноцелюлозні відходи від переробки цукрової тростини не поступаються за сорбційною здатністю щодо метиленового синього іншим агропромисловим вторинним відходам: шкаралупі насіння соняшнику (35.4 мг/г) [17] та кукурудзяним качанам (18.3 мг/г) [18].

Результати визначення сорбційної здатності досліджуваних матеріалів щодо йонів  $\text{Fe}^{3+}$  та  $\text{Cu}^{2+}$  наведено на *рис. 5*.



*Рис. 5.* Сорбційна ємність лігноцелюлозних відходів щодо йонів  $\text{Fe}^{3+}$  (а) та  $\text{Cu}^{2+}$  (б) від їх рівноважної концентрації

Максимальна сорбційна ємність щодо йонів  $\text{Fe}^{3+}$  та  $\text{Cu}^{2+}$  відповідає соломі цукрової тростини і становить 9 і 14 мг/г відповідно (рис. 5, а; 5, б). Досліджуваний матеріал дещо поступається за сорбційною здатністю щодо йонів  $\text{Fe}^{3+}$  та  $\text{Cu}^{2+}$  шкаралупам кісточок абрикоса (44 і 54 мг/г відповідно) [19] та шкаралупам волоського горіха (34 і 49 мг/г відповідно) [20].

Одержані результати можуть бути використані у поєднанні з традиційними методами для розробки ефективних комплексних схем очищення стічних вод, що містять у своєму складі органічні барвники.

**Висновки.** Сорбційні властивості відходів переробки цукрової тростини – багаси та соломи щодо метиленового синього залежать від питомої поверхні матеріалів, тобто від доступності активних центрів сорбції. Обидва матеріали мають хорошу сорбційну здатність до катіонного барвника при рН 6 і вище та не поступаються іншим агропромисловим вторинним відходам – шкаралупі насіння соняшнику й кукурудзяним качанам.

Найбільша сорбційна здатність щодо метиленового синього і йонів  $\text{Fe}^{3+}$  та  $\text{Cu}^{2+}$  відповідає соломі цукрової тростини.

Результати дослідження свідчать про великий потенціал використання обох типів відходів переробки цукрової тростини як біосорбентів для очищення стічних вод від органічних барвників.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Tchounwou P. B., Yedjou C. G., Patloll A. K., Sutton D. J. Heavy metals toxicity and the environment. *Exp. Suppl.* 2012. Vol. 101. P. 133-164. DOI: 10.1007/978-3-7643-8340-4\_6.
2. Fazzo L., Minichilli F., Santoro M., Ceccarini A., Seta M. D., Bianchi F. et al. Hazardous waste and health impact: a systematic review of the scientific literature. *Environ. Health.* 2017. Vol. 16. P. 107. DOI: 10.1186/s12940-017-0311-8.
3. Michel M. M., Tytkowska M., Reczek L., Trach Y., Siwiec T. Technological Conditions for the Coagulation of Wastewater from Cosmetic Industry. *J. Ecol. Eng.* 2019. Vol. 20 (5). P. 78-85. DOI: 10.12911/22998993/105333.
4. Hu Y., Boyer T. H. Removal of multiple drinking water contaminants by combined ion exchange resin in a completely mixed flow reactor. *Journal of Water Supply: Research and Technology-Aqua.* 2018. Vol. 67 (7). P. 659-672. DOI: 10.2166/aqua.2018.101.
5. Kim D. G., Kim W. Y., Yun C. Y., Son D. J., Chang D., Bae H. S. et al. Agro-industrial wastewater treatment by electrolysis technology. *Int. J. Electrochem. Sci.* 2013. Vol. 8. P. 9835-9850.
6. Khulbe K. C., Matsuura T. Removal of heavy metals and pollutants by membrane adsorption techniques. *Appl. Water. Sci.* 2018. Vol. 8. P. 19. DOI: 10.1007/s13201-018-0661-6.
7. Carr J. D., Goncharova I. V., Golovko D. A., McLaughlin C. W., Golovko I. D., Erickson J. E. Study of the oxidation kinetics of nitrite ions by potassium ferrate (VI). *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies.* 2018. Vol. 3. N 6 (93). P. 18-25. DOI: 10.15587/1729-4061.2018.133460.

8. Kartel M., Galysh V. New composite sorbents for caesium and strontium ions sorption. *Chemistry Journal of Moldova*. 2017. Vol. 12. N 1. P. 37-44.
9. Gupta V. K., Nayak A., Agarwal S. Bioadsorbents for remediation of heavy metals: Current status and their future prospects. *Environ. Eng. Res.* 2015. Vol. 20 (1). P. 1-18. DOI: 10.4491/eer.2015.018.
10. Halysh V., Sevastyanova O., de Carvalho D. M., Riazanova A. V., Lindström M. E., Gomelya M. Effect of oxidative treatment on composition and properties of sorbents prepared from sugarcane residues. *Industrial Crops and Products*. 2019. N 139. Article id UNSP 111566.
11. Оболенская А. В., Ельцина З. П., Леонович А. А. Лабораторные работы по химии древесины и целлюлозы. М.: Экология, 1991. 320 с.
12. Кельцев Н. В. Основы адсорбционной техники. М.: Химия, 1976. 511 с.
13. Кореман Я. И. Практикум по аналитической химии. Воронеж: Изд-во Воронежского ун-та, 1989. 225 с.
14. Galysh V., Sevastyanova O., Kartel M., Lindström M., Gornikov Yu. Impact of ferrocyanide salts on the thermo-oxidative degradation of lignocellulosic sorbents. *J. Therm. Anal. Calorim.* 2017. Vol. 128 (2). P. 1019-1025. DOI: 10.1007/s10973-016-5984-7.
15. Halysh V., Sevastyanova O., Riazanova A. V., Pasalskiy B., Budnyak T., Lindström M. E. et al. Walnut shells as a potential low-cost lignocellulosic sorbent for dyes and metal ions. *Cellulose*. 2018. Vol. 25 (8). P. 4729-4742. DOI: 10.1007/s10570-018-1896-y.
16. Sun J. X., Sun X., Sun R. C., Su Y. Q. Fractional extraction and structural characterization of sugarcane bagasse hemicelluloses. *Carbohydr. Polym.* 2004. Vol. 56. P. 195-204. DOI: 10.1016/j.carbpol.2004.02.002.
17. Suteu D., Zaharia C., Badeanu M. Agriculture wastes used as sorbents for dyes removal from aqueous environments. *Lucrari Stiintifice*. 2010. Vol. 53 (1). P. 140-145.
18. Conrad E. K., Nnaemeka O. J., Chris A. O. Adsorption removal of Methylene Blue from aqueous solution using agricultural waste: equilibrium, kinetic and thermodynamic studies. *American Journal of Chemistry and Materials Science*. 2015. Vol. 2 (3). P. 14-15.
19. Галиш В., Чикун Н., Пасальський Б. Сорбційні властивості шкаралупи кісточок абрикоса. *Міжнар. наук.-практ. журн. "Товари і ринки"*. 2018. № 2 (26). С. 46-56. DOI: [https://doi.org/10.31617/tr.knute.2018\(26\)05](https://doi.org/10.31617/tr.knute.2018(26)05).
20. Галиш В., Пасальський Б., Севастьянова О. Високоєфективні сорбенти з продуктів переробки сільськогосподарської сировини. *Міжнар. наук.-практ. журн. "Товари і ринки"*. 2017. № 1 (23). С. 80-89.

Стаття надійшла до редакції 05.11.2019.

***Halysh V., Pasalskiy B., Chykun N. Sorption properties of lignocellulosic waste from sugarcane processing.***

**Background.** Adsorption is considered to be one of the most acceptable methods of removing toxicants from aquatic environments. In recent years, the interest of scientists in biosorption with the use of living (microorganisms) and non-living (plant materials) biomass has increased. Such lignocellulosic materials, as wood and crops consisting of cellulose, hemicellulose, lignin and other components in small quantities, exhibit sorption properties due to their multicomponent composition and the presence of various active functional groups on their surface.

Sugarcane (stem residue obtained after juice extraction) and straw (leaves) are by-products that can be considered as a promising sorbent for water purification.



The aim is to determine the chemical composition of sugarcane bagasse and straw and to study their structural-sorption properties for synthetic dye and heavy metal ions.

**Materials and methods.** The bagasse and straw of sugarcane, grinded to the size of 0.5–1 mm, were used as sorbent.

The structure of the starting materials was investigated using Fourier transform infrared spectroscopy (FTIS), the morphology of the samples – by scanning electron microscopy, the specific surface area – by nitrogen adsorption/desorption at  $-272\text{ }^{\circ}\text{C}$  using a NOVA 2200 analyzer, the amount of sorption pores – by the adsorption of benzene vapor in the desiccator.

The sorption of synthetic organic dye methylene blue and  $\text{Fe}^{3+}$  and  $\text{Cu}^{2+}$  ions was studied using relevant model solutions under certain conditions. The starting and equilibrium concentrations of methylene blue and  $\text{Fe}^{3+}$  were determined by spectrophotometric method at a wavelength of 664 nm and 510 nm respectively, and  $\text{Cu}^{2+}$  ions – by iodometric method.

**Results.** The results of investigation of the chemical composition of sugarcane bagasse and straw indicate that the main components are structural components, namely holocellulose (cellulose and hemicelluloses) and lignin. Both materials contain approximately the same amount of polysaccharides and aromatic components. However, the content of mineral and extractive substances is slightly higher in the straw.

Microphotographs show a complex morphology of the surface of both materials, which contains macro- and micro pores. Despite the smaller specific surface area, sugarcane bagasse has a larger volume of adsorption pores, which is associated with a higher content of polysaccharide component, which is able to swell in an organic solvent environment.

The maximum sorption of methylene blue is achieved at pH 6–7. The sorption capacity of bass and straw on methylene blue is 27.7 and 30.0 mg/g, respectively. The larger sorption capacity corresponds to the material with a larger specific surface area. The absorption rate of the dye on the studied materials is maximum during the first 20 min. The subsequent decrease in the concentration of methylene blue occurs more slowly until the equilibrium value is reached, which is reached within 300 min from the beginning of sorption.

The maximum sorption capacity for  $\text{Fe}^{3+}$  and  $\text{Cu}^{2+}$  ions corresponds to the straw and is 9 and 14 mg/g, respectively, and is slightly inferior to other plant waste representatives.

**Conclusion.** The sorption properties of sugar cane processing wastes – sugarcane bagasse and straw in relation to methylene blue depend on the specific surface of the materials, i. e. on the availability of active sorption centers. Both materials have good sorption capacity for cationic dye at pH 6 and above and are not inferior to other agricultural secondary wastes – sunflower seeds and corn cobs.

The highest sorption capacity for methylene blue and  $\text{Fe}^{3+}$  and  $\text{Cu}^{2+}$  ions corresponds to sugar cane straw.

The results indicate a great potential for both types of sugar cane processing waste as bio sorbents for the treatment of wastewater from organic dyes.

*Keywords:* sugarcane, bagasse, straw, methylene blue, heavy metal ions, sorption efficiency.

## REFERENCES

1. Tchounwou, P. B., Yedjou, C. G., Patloll, A. K., & Sutton, D. J. (2012). Heavy metals toxicity and the environment. *Experientia Supplementum*. (Vol. 101), (pp. 133-164). DOI: 10.1007/978-3-7643-8340-4\_6 [in English].
2. Fazzo, L., Minichilli, F., Santoro, M., Ceccarini, A., Seta, M. D., Bianchi, F. et al. (2017). Hazardous waste and health impact: a systematic review of the scientific literature. *Environ. Health*. (Vol. 16), (pp. 107). DOI: 10.1186/s12940-017-0311-8 [in English].
3. Michel, M. M., Tytkowska, M., Reczek, L., Trach, Y., & Siwec, T. (2019). Technological Conditions for the Coagulation of Wastewater from Cosmetic Industry. *Ecological Engineering*. (Vol. 20 (5)), (pp. 78-85). DOI: 10.12911/22998993/105333 [in English].

4. Hu, Y., Boyer, T. H. (2018). Removal of multiple drinking water contaminants by combined ion exchange resin in a completely mixed flow reactor. *Journal of Water Supply: Research and Technology-Aqua*. (Vol. 67 (7), (pp. 659-672). DOI: 10.2166/aqua.2018.101 [in English].
5. Kim, D. G., Kim, W. Y., Yun, C. Y., Son, D. J., Chang, D., Bae, H. S. et al. (2013). Agro-industrial wastewater treatment by electrolysis technology. *International Journal of Electrochemical Science*. (Vol. 8), (pp. 9835-9850) [in English].
6. Khulbe, K. C., & Matsuura, T. (2018). Removal of heavy metals and pollutants by membrane adsorption techniques. *Applied Water Science*. (Vol. 8), (pp. 19). DOI: 10.1007/s13201-018-0661-6 [in English].
7. Carr, J. D., Goncharova, I. V., Golovko, D. A., McLaughlin, C. W., Golovko, I. D., & Erickson, J. E. (2018). Study of the oxidation kinetics of nitrite ions by potassium ferrate (VI). *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. (Vol. 3), 6 (93), 18-25. DOI: 10.15587/1729-4061.2018.133460 [in English].
8. Kartel, M., & Galysh, V. (2017). New composite sorbents for caesium and strontium ions sorption. *Chemistry Journal of Moldova*. (Vol. 12), 1, 37-44 [in English].
9. Gupta, V. K., Nayak, A., & Agarwal, S. (2015). Bioadsorbents for remediation of heavy metals: Current status and their future prospects. *Environmental Engineering Research*. (Vol. 20 (1), (pp. 1-18). DOI: 10.4491/eer.2015.018 [in English].
10. Halysh, V., Sevastyanova, O., de Carvalho, D. M., Riazanova, A. V., Lindström, M. E., & Gomelya, M. (2019). Effect of oxidative treatment on composition and properties of sorbents prepared from sugarcane residues. *Industrial Crops and Products*, 139. Article id UNSP 111566 [in English].
11. Obolenskaja, A. V., El'cina, Z. P., & Leonovich, A. A. (1991). Laboratornye raboty po himii drevesiny i celljulozy [Laboratory work on the chemistry of wood and cellulose]. Moscow: Jekologija [in Russian].
12. Kel'cev, N. V. (1976). Osnovy adsorbcionnoj tehniki [The basics of adsorption technology]. Moscow: Himija [in Russian].
13. Koreman, Ja. I. (1989). Praktikum po analiticheskoj himii [Workshop on Analytical Chemistry]. Voronezh: Izdatel'stvo Voronezhskogo universiteta [in Russian].
14. Galysh, V., Sevastyanova, O., Kartel, M., Lindström, M., & Gornikov, Yu. (2017). Impact of ferrocyanide salts on the thermo-oxidative degradation of lignocellulosic sorbents. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*. (Vol. 128 (2), (pp. 1019-1025). DOI: 10.1007/s10973-016-5984-7 [in English].
15. Halysh, V., Sevastyanova, O., Riazanova, A. V., Pasalskiy, B., Budnyak, T., Lindström, M. E. et al. (2018). Walnut shells as a potential low-cost lignocellulosic sorbent for dyes and metal ions. *Cellulose*. (Vol. 25 (8), (pp. 4729-4742). DOI: 10.1007/s10570-018-1896-y [in English].
16. Sun, J. X., Sun, X., Sun, R. C., & Su, Y. Q. (2004). Fractional extraction and structural characterization of sugarcane bagasse hemicelluloses. *Carbohydrate Polymers*. (Vol. 56), (pp. 195-204). DOI: 10.1016/j.carbpol.2004.02.002 [in English].
17. Suteu, D., Zaharia, C., & Badeanu, M. (2010). Agriculture wastes used as sorbents for dyes removal from aqueous environments. *Lucrari Stiintifice*. (Vol. 53 (1), (pp. 140-145) [in English].
18. Conrad, E. K., Nnaemeka, O. J., & Chris, A. O. (2015). Adsorption removal of Methylene Blue from aqueous solution using agricultural waste: equilibrium, kinetic and thermodynamic studies. *American Journal of Chemistry and Materials Science*. (Vol. 2 (3), (pp. 14-15) [in English].
19. Galysh, V., Chykun, N., & Pasal's'kyj, B. (2018). Sorbcijni vlastyvoli shkaralupy kistochok abrykosa [Sorption properties of the shell of apricot kernel]. *Mizhnarodnyj naukovo-praktychnyj zhurnal "Tovary i rynky" – International scientific and practical journal "Commodities and Markets"*, 2 (26), 46-56. DOI: 10.31617/tr.knute.2018(26)05 [in Ukrainian].
20. Galysh, V., Pasal's'kyj, B., & Sevast'janova, O. (2017). Vysokoefektyvni sorbenty z produktiv pererobky sil'skogospodars'koi' syrovyny [Highly effective sorbents from the products of agricultural raw materials processing]. *Mizhnarodnyj naukovo-praktychnyj zhurnal "Tovary i rynky" – International scientific and practical journal "Commodities and Markets"*, 1 (23), 80-89 [in Ukrainian].