

Йони заліза характеризуються полівалентністю і можуть знаходитися в різних формах Fe^{2+} і Fe^{3+} . В підземних водах йони заліза переважно знаходяться у вигляді Fe^{2+} , концентрація якого може сягати 15 г/л із-за великого вмісту вільного діоксиду вуглецю і відсутності окислювачів [2]. Сполуки заліза трьохвалентного мають меншу розчинність, ніж сполуки заліза Fe^{2+} , тому в технології водопідготовки залізозмісних підземних вод процес окислення є визначальним. Для підвищення ефективності процесу окислення використовують перемішування. В технологіях водопідготовки для більш ефективного перемішування використовують різного типу контактні пристрої чи ежектори.

Нами були досліджені механізми дії дискретно - імпульсного введення енергії (ДІВЕ) на ефективність масопереносу в процесі насичення води киснем повітря. Для цього використовували установку, основним робочим органом якої є роторно - пульсаційний апарат. Повітря надходить в апарат самовсмоктуванням за рахунок ефекту Вентурі.

Досліджено, що обробка води методом ДІВЕ частотою 2 - 5 кГц забезпечує енергію активації процесу аерації 56,1 кДж/моль, що забезпечує зменшення вмісту йонів Fe^{2+} із 2,5 мг/л до 0,02 мг/л, що значно нижче технологічних вимог.

Таким чином, керуючи механізмами ДІВЕ, можна збільшувати швидкість масопереносу і, таким чином, інтенсифікувати процес зенезалізнення води.

Розроблена технологія випробувана в умовах Червонослобідського спиртзаводу. Результати випробувань підтвердили лабораторні дослідження і показали ефективність метода ДІВЕ для інтенсифікації процесу.

Література

1. Md Anik Hossain, Md Inzamal Haque, Most Atia Parvin, Md Nazrul Islam Evaluation of iron contamination in groundwater with its associated health risk and potentially suitable depth analysis in Kushtia Sadar Upazila of Bangladesh, *Groundwater for Sustainable Development*. 2023. 21. 100946. <https://doi.org/10.1016/j.gsd.2023.100946>
2. Vasudevan S., Lakshmi J., Sozhan G. Studies on the Removal of Iron from Drinking Water by Electrocoagulation - A Clean Process. 2009. CLEAN - Soil, Air, Water. 37(1). 45-51. <https://doi.org/10.1002/clen.200800175>

ШЛЯХИ ВИКОРИСТАННЯ ШКАРАЛУПИ ВОЛОСЬКОГО ГОРІХА ДЛЯ СТВОРЕННЯ ЕФЕКТИВНИХ БІОАДСОРБЕНТІВ У ВОДООЧИЩЕННІ

Самченко К. Ю., ст., Саблій Л. А., проф., д.т.н.

*Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Київ, Україна
samchenko.kateryna@lil.kpi.ua*

Волоський горіх (*Juglans regia* L.) — це рослина з родини Juglandaceae, з якої у світі щорічно виробляють плодів приблизно 3,3 млн тонн. У Європі основними виробниками є Туреччина, Україна, Румунія та Франція [1]. Україна залишається одним із найбільших експортерів волоських горіхів у світі, наразі близько 66-70% продукції йде на експорт. У майбутньому ця частка може зрости до 85% завдяки розвитку нових ринків і стабілізації логістики [2].

Мета даної роботи – дослідити можливості використання шкаралупи волоського горіха в якості ефективного біоадсорбенту для очищення стічних вод від забруднювачів,

насамперед важких металів, органічних сполук та барвників, дослідити хімічний склад та властивості біомаси з визначенням впливу фізичної і хімічної обробки на адсорбційні властивості матеріалу.

З метою мінімізації виснаження природних ресурсів, останнім часом зростає інтерес до використання або переробки сільськогосподарських відходів [3]. Проте високі витрати на їх збір, транспортування та зберігання обмежують їх застосування [4]. Фермери зазвичай збирають лише ядра горіхів, а шкаралупу та інші залишки спалюють, що спричиняє серйозні екологічні проблеми. Водночас використання таких відходів може забезпечити додатковий прибуток та принести екологічні і соціально-економічні вигоди [3]. Більше того, шкаралупа їстівних горіхів (близько 67% від загальної маси плоду [5]), є перспективним джерелом біомаси, що має достатньо високу міцність, не гниє, практично не втрачає своїх властивостей з часом, швидко відновлюється в природі і є екологічно безпечним продуктом для людей і тварин [6], а також накопичується безпосередньо на горіхопереробних підприємствах [4].

Шкаралупа волоських горіхів, в основному, складається з лігніну (35,0%), целюлози (30,4%) і геміцелюлози (24,9%). Високий вміст лігніну робить таку шкаралупу перспективною для виробництва біополіолів, смол та адгезивів, а також для використання в якості біопалива [3].

Проблема очищення стічних вод залишається одним із найактуальніших напрямів досліджень [8]. Одним із найефективніших способів очищення є адсорбція — простий, недорогий і універсальний метод, який забезпечує високу селективність і ефективність. Традиційно дослідження зосереджували на активованому вугіллі, однак його недоліками є висока вартість і складність регенерації. Тому зростає інтерес до альтернативних, низьковартісних, високоефективних та екологічно безпечних біосорбентів [1].

Як у сирому, так і в модифікованому вигляді горіхові шкаралупи проявили високу адсорбційну здатність щодо талію, йонів важких металів, органічних сполук і барвників [8]. Фізична та хімічна активація не лише покращує сорбційні властивості горіхових шкаралуп, але й розширює їх застосування в інших галузях індустрії. Покращення проявляється у збільшенні кількості функціональних груп, питомої поверхні та об'єму пор [7].

Функціональні групи лігноцелюлозної біомаси, що можуть брати участь у зв'язуванні забруднюючих речовин під час сорбції, — це гідроксильні ($-OH$), карбонільні ($-C=O$) та карбоксильні ($-COOH$) групи. Однак природна шкаралупа має обмежену швидкість і ефективність адсорбції, тому її модифікують хімічно (лужною або кислотною обробкою) чи шляхом введення полярних груп $-NH_2$, $-COOH$ та $-OH$. Проте, ці методи мають численні недоліки — високі експлуатаційні витрати та утворення великої кількості рідких відходів, що потребують подальшої регенерації або утилізації. Також, щоб збільшити кількість активних центрів і покращити структуру поверхні, застосовують обробку поверхнево-активними речовинами (ПАР) [1].

Зазвичай модифікація шкаралуп волоських горіхів проходить у кілька етапів. На першому етапі сировинну шкаралупу подрібнюють до необхідного розміру, промивають дистильованою водою, а потім висушують при температурі $105\text{ }^{\circ}\text{C}$ протягом ночі або 24 годин. Наступним кроком є активація, яка може бути хімічною або фізичною, і спрямована на збільшення пористості та площі поверхні адсорбенту. Потім виконується процес карбонізації під час піролізу, який також називають термічною обробкою, в інертній атмосфері (за відсутності кисню). У деяких випадках піроліз проводять перед активацією. Нарешті, серія модифікацій завершується наданням поверхні адсорбенту активних функціональних груп, що покращує його здатність зв'язувати і утримувати забруднюючі речовини [7].

Отже, шкаралупа волоського горіха є перспективним і доступним джерелом лігноцелюлозної біомаси, що має високий потенціал для використання в якості ефективного біоадсорбенту для очищення стічних вод від важких металів, органічних речовин та барвників. Завдяки високому вмісту лігніну, целюлози та геміцелюлози, а також наявності активних функціональних груп (гідроксильних, карбонільних, карбоксильних), шкаралупа здатна ефективно поглинати забруднюючі речовини із води. Модифікація матеріалу фізичними та хімічними методами дозволяє значно підвищити адсорбційну здатність, збільшуючи питому поверхню, об'єм пор та кількість активних груп. Використання шкаралупи волоського горіха в якості біоадсорбенту є економічно вигідним та екологічно безпечним, а також сприяє раціональному використанню сільськогосподарських відходів, що відкриває нові перспективи для промислового застосування такої біомаси у водоочищенні.

ДЖЕРЕЛА ЛІТЕРАТУРИ

1. Shkliarenko, Y.; Halysh, V.; Nesterenko, A. Adsorptive Performance of Walnut Shells Modified with Urea and Surfactant for Cationic Dye Removal. *Water* **2023**, *15*, 1536. <https://doi.org/10.3390/w15081536>
2. Аналіз ринку волоських горіхів в Україні. 2024 рік. URL: <https://pro-consulting.ua/ua/issledovanie-rynka/analiz-rynka-greckih-orehov-v-ukraine-2024-god>.
3. Domingos, Idalina, Ferreira, José, Cruz-Lopes, Luísa P. and Esteves, Bruno. "Liquefaction and chemical composition of walnut shells" *Open Agriculture*, vol. 7, no. 1, 2022, pp. 249-256. <https://doi.org/10.1515/opag-2022-0072>
4. Kujawiak, S.; Makowska, M.; Waliszewska, B.; Janczak, D.; Brózdowski, J.; Czekala, W.; Zyffert, A. The Influence of Drying Sewage Sludge with the Addition of Walnut Shells on Changes in the Parameters and Chemical Composition of the Mixture. *Energies* **2024**, *17*, 4701. <https://doi.org/10.3390/en17184701>
5. Pirayesh, Hamidreza. "The Potential for Using Walnut (*Juglans Regia* L.) Shell as a Raw Material for Wood-Based Particleboard Manufacturing." *Composites Part B: Engineering*, 2012.
6. Beskopylny AN, Stel'makh SA, Shcherban' EM, Mailyan LR, Meskhi B, Shilov AA, Chernil'nik A, El'shaeva D. Effect of Walnut-Shell Additive on the Structure and Characteristics of Concrete. *Materials (Basel)*. 2023 Feb 20;16(4):1752. doi: 10.3390/ma16041752. PMID: 36837382; PMCID: PMC9968172.
7. Hania Albatrni, Hazim Qiblawey, Mohammed J. Al-Marri, Walnut shell based adsorbents: A review study on preparation, mechanism, and application, *Journal of Water Process Engineering*, Volume 45, 2022, 102527, ISSN 2214-7144, <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2021.102527>.
8. Uddin, M.K., Nasar, A. Walnut shell powder as a low-cost adsorbent for methylene blue dye: isotherm, kinetics, thermodynamic, desorption and response surface methodology examinations. *Sci Rep* **10**, 7983 (2020). <https://doi.org/10.1038/s41598-020-64745-3>