

¹*Зіараті Париса, D(Sc), ¹Мохтарзаде Марьям,*

²*Вамболь В. В.², д. т. н., проф., ³Вамболь С. О., д. т. н., проф.,*

⁴*Савицька Барбара, професор, д-р хабіл,*

⁵*Надим А Хан, PhD*

¹ *Тегеранські медичні науки, Ісламський університет Азад, Тегеран, Іран,*

² *Національний університет «Полтавська політехніка
імені Юрія Кондратюка», Полтава, Україна,*

³ *Державний біотехнологічний університет, Харків, Україна,*

⁴ *Університет природничих наук в Любліні, Люблін, Польща,*

⁵ *Національний ісламський університет, Нью-Дели, Індія*

ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ ВІДХОДІВ РОСЛИННОЇ ХАРЧОВОЇ ПЕРЕРОБКИ ДЛЯ ОЧИЩЕННЯ СТІЧНИХ ВОД

Очищення стічних вод від токсичних, у тому числі важких металів ефективно вирішується при використанні різних вуглецевих сорбентів. Сировинні джерела для отримання таких матеріалів дуже різноманітні. Особливу групу становлять відходи переробки біомаси. Активні пористі матеріали з рослинних відходів мають значний практичний інтерес для вирішення ряду екологічних завдань промислово насичених регіонів: очищення стічних вод, газових викидів, ґрунту та ін. гідросфери.

Основна мета роботи – розгляд способів очищення, які поєднують у собі ефективність видалення іонів важких металів та використання відходів сільськогосподарської переробки та рослинного матеріалу. Виходячи з цього сформульовано основні завдання:

- аналіз перспективних технологій очищення з використанням зеленого та натурального біоадсорбенту, харчових відходів та дозволяють одночасно вирішувати завдання утилізації залишків сільськогосподарської переробки;
- оцінка ефективності запропонованих способів зниження забруднення важкими металами промислових стічних вод і поліпшити виробничого циклу.

Для вирішення поставлених завдань був використаний оглядово-аналітичний підхід. У своїх дослідженнях автори спиралися насамперед на відкриті джерела інформації та статистичні дані, які не є закритими. Огляд технологій очищення води від іонів важких металів обмежувався лише можливістю використання відходів сільськогосподарської переробки.

Натуральні біосорбенти мають здатність видаляти метал із розчинів, а також можуть використовуватися для зниження концентрації металів [1]. Вони можуть відокремлювати від ppb до ppm іони важких металів із поверхні розчинених іонів металів із складних розбавлених розчинів із

високою ефективністю та швидкістю. Тому біосорбенти – ідеальний кандидат для очищення стічних вод з великим обсягом та низькою концентрацією важких металів. Деякі з переваг біосорбції, порівняно із звичайними методами очищення, включають низьку вартість, високу ефективність для розчинів з низькою концентрацією важких металів, мінімальну кількість хімічного або біологічного осаду, відсутність потреби в поживних речовинах та можливість реактивації адсорбенту та вилучення металів. Ідея використання сільськогосподарських/харчових відходів як природних та доступних адсорбентів для видалення важких металів із забруднених ґрунтів та стічних вод є перспективною. В останні роки в рамках цього підходу проводиться безліч досліджень.

Враховуючи потужності сільхозгосподарств України, а також технологічні можливості агропереробки слід звернути увагу на використання сорбційних матеріалів із відходів агропромислового виробництва на прикладі лушпиння соняшника та лушпиння гречки.

У дослідженні, присвяченому екологічно безпечному водокористуванню [2], розглянуто окремі аспекти використання сорбційних матеріалів на основі відходів агропромислового виробництва. Використовувалися сорбційно-іонообмінні технології із застосуванням сорбційно-іонообмінних матеріалів на основі модифікованих рослинних відходів та мінеральної сировини для очищення води від іонів важких металів. У результаті досліджень було отримано характеристики модифікованих сорбційних матеріалів на основі лушпиння соняшника. Сорбенти на основі лушпиння соняшника мають високі значення механічної міцності (більше 96%). Максимальний сумарний обсяг пір спостерігається у нативної лушпиння – 4,6 см³/р. Зольність модифікованої лузи значно менша, ніж у нативної, що ймовірно пов'язано з вилуговуванням мінеральної складової при активації. Аналіз ІЧ-спектрів сорбентів на основі лушпиння показало, що у всіх діапазонах для всіх видів матеріалів вони мають однаковий характер і змінюються незначно. Вилучення металів із водних розчинів проводилося на лушпинні соняшника та гречки як у нативній формі, так і модифікованої розчинами соляної, ортофосфорної кислот (0,5 н) та розчином гідроксиду натрію (500 мг/л). Дослідження з очищення води від іонів міді та нікелю на лушпинні гречки показали, що лушпиння в нативній формі має невисоку сорбційну ємність по іонах міді (4,2 мг/г), а обробка її модифікаторами дозволяє значно покращити сорбційні властивості. Найкращі показники отримані при модифікації розчином натрію гідроксиду відбувається збільшення сорбційної ємності більше, ніж у 4 рази.

Однією з перспективних технологій очищення стічних вод від іонів важких металів вважається використання комбінованих сорбентів. Тобто, це є сорбенти на основі модифікованих відходів керамічного виробництва та сільгосппереробки (сорбентів на основі обмолот проса, лушпиння

соняшника, пшениці та модифікованих відходів керамічного виробництва). Результати таких досліджень було опубліковано у роботі [3], а саме ефективність очищення сорбційних матеріалів з використанням як сорбційний матеріал осаду стічних вод керамічного цеху (ОКЦ), гранульованого та комбінованого з переробки сільськогосподарської продукції (ПСП). Як ПСП використано обмолот проса, лушпиння пшениці та соняшника. Встановлено склад, фізико-хімічні та сорбційні властивості отриманих сорбційних матеріалів по відношенню до іонів важких металів (Cu^{2+} , Ni^{2+} , Zn^{2+} , Cd^{2+} , Pb^{2+} , Fe .) при впливі різних факторів (t , $^{\circ}\text{C}$, pH , $\text{C}_{\text{поч}}$ та ін.), виконано оцінку токсичності вод до та після очищення. При цьому, ефективність очищення сорбційних речовин (СВ) від іонів важких металів (ІВМ) адсорбентами залежить від умов модифікації та проведення процесу очищення стоків ($t_{\text{випалу}}$, $t_{\text{розчину}}$, pH середовища, обробці СВ у магнітному полі та ін.). Найвища ефективність очищення СВ від ІВМ ($E = 97\text{--}99\%$) досягається комбінованими сорбційними матеріалами (СМ), отриманими при термообробці протягом 20 хв. при 300°C у співвідношенні 50:50%. Найбільш високими адсорбційними властивостями має СМ на основі суміші відходів (50:50%), термооброблених при 300°C протягом 20 хв. Ефективність очищення СВ від катіонів свинцю ($E=99\%$) комбінованими СМ перевищує величини E , % при використанні ОКЦ ($E=97\%$) та термообробленого лушпиння соняшника ТШП ($E=94,6\%$). Мікроструктурні дослідження комбінованих СМ (ОКЦ: ТШП -50:50%) показали наявність рівномірного розподілу порошкоподібного ОКЦ по пористій поверхні лушпиння соняшника (ШП), яке відбувається за рахунок адгезії ОКЦ маслянистою поверхнею лушпиння соняшника. Максимальна ефективність очищення стоків від ІВМ ($E=96\text{--}97\%$) та сорбційна ємність ($A=6,0\text{--}7,5\text{мг/г}$) ОКЦ досягається при співвідношенні маси сорбенту до обсягу стоків 20 г/л та часу сорбції 30 хв.

Ще одним із перспективних технологічних способів очистки стоків від ІВМ є використання у якості сорбентів відходів томатного виробництва. М'якуш томату є рослинний залишок, і в дослідженні [4] вивчалася її адсорбційна здатність по відношенню до окремих забруднюючих речовин у воді. Томатна макуха є одним із побічних продуктів виробництва томатної пасти, яка, залежно від методу обробки та характеристик сирих томатів, включає шкірку, насіння та невелику кількість томатного м'яса різної пропорції. М'якуш томату є одним із побічних продуктів, одержуваних у процесі виробництва томатного соусу та пюре. Результати показали, що залишки помідорів мають значний потенціал адсорбції кобальту ($p < 0,05$) протягом 6 годин навіть при дуже низькому вмісті біосорбенту (0,1% мас.) і в присутності 0,4, 1 і 2% (мас. / w), процес адсорбції значно збільшився протягом перших годин дослідження, і після 6 годин контакту в присутності 2% ТРВ зниження Co було дуже значним ($p < 0,001$), а середній вміст $73,45 \pm 1,01$ впав до $31,209 \pm 0,78$ мг/л \pm стандартна похибка, що підтверджує

адсорбційну здатність, варіювалася з урахуванням впливу різних параметрів, таких як доза адсорбенту.

Для адсорбції нікелю ($p < 0,05$) залишки томатів також мають значний потенціал. Протягом 6 годин навіть при дуже низькому вмісті біодсорбенту (0,1% мас.) і в присутності 2% (мас./мас.) спостерігалось інше значне зниження, процес адсорбції значно збільшився протягом перших годин дослідження, і після 6 годин контакту у присутності 2% TPW зниження Ni було значним ($p < 0,03$), а середній вміст $183,54 \pm 1,00$ знизився до $130,78 \pm 0,11$ мг/л \pm стандартне відхилення, що підтверджує, що адсорбційна здатність нікелю не така велика, як його потенціал для металевого кобальту.

Неочищені стічні води містили 7,563 мг/л кадмію, у той час як через два тижні обробки 2% TPW та перемішування всього розчину воно знизилось до 0,562 мг/л, що показує 91,3% видалення цих токсичних елементів зеленим методом без будь-яких хімічних з'єднань. екологічно чистий та зелений метод. Навіть при більш низькій концентрації агро/харчових відходів у томатній макусі 0,1% та 0,2% навіть через 6 годин процес відновлення значний ($p < 0,05$), а через 24 та 72 години вміст кадмію впало ($p < 0,003$).

Застосування сорбентів із відходів біомаси економічно виправдано для невеликих виробництв, наближених до джерел доступної сировини. Аналіз структури сировинної бази відходів рослинного походження показує, що найбільш перспективними за своєю доступністю та масштабістю для отримання сорбційних матеріалів є відходи сільгосппродукції. Щоб отримати ефективні, дієві та особливо дешеві адсорбенти, змінився шлях досліджень адсорбції важких металів природними матеріалами, такими як деякі відходи промислових та сільськогосподарських підприємств.

Використані інформаційні джерела:

1. Arabian, S., Ziarati, P., Sawicka, B., (2020). Waste Herbal and Black Tea as a Novel Adsorbent for Detoxification of Pharmaceutical Effluent, *J Med Discov*, 5(3). DOI: 10.24262/jmd.5.3.20040.

2. Сомин В. А. (2015). Экологически безопасное водопользование с применением технологических решений на основе новых сорбционных материалов. Автореф. докт. техн. наук. 25.00.27.

3. Ульянова В. В. (2015). Очистка сточных вод от ионов тяжелых металлов сорбентами на основе модифицированных отходов керамического производства и сельхозпереработки. Автореф. канд. техн. наук. 03.02.08.

4. Shirkhan, F., Mostafidi, M., Tamaskani Zahedi, M., Ziarati, P., Vambol, V., Vambol, S., (2022). Green Technologies and Environmental Management: a New Understanding and Approach to the Use of Agricultural Waste. *Letters in Applied NanoBioScience*, 11, 1, 3065 – 3075, DOI: 10.33263/LIANBS111.30653075.