

УДК 628.543

ВІДХОДИ ПЕРЕРОБКИ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ ПРОДУКЦІЇ ТА ВИРОБНИЦТВА ХАРЧОВИХ ПРОДУКТІВ ЯК ЕФЕКТИВНІ ФІЛЬТРУЮЧІ МАТЕРІАЛИ ДЛЯ ОЧИЩЕННЯ СТІЧНИХ ВОД ВІД ІОНІВ ВАЖКИХ МЕТАЛІВ

О.О. Коваленко, В.В. Новосельцева, Н.О. Коваленко
Одеська національна академія харчових технологій

Вступ

Комплексна переробка відходів з метою зниження техногенного навантаження на навколишнє середовище є однією з актуальних проблем сучасності. Особливу небезпеку становлять стічні води, що містять важкі метали, зокрема іони кадмію, хрому, цинку, нікелю, міді. Вони, володіючи властивостями токсикантів кумулятивного характеру, чинять мутагенну та канцерогенну дію на живі організми.

Основними постачальниками важких металів у навколишнє середовище є електрохімічні виробництва. Такі виробництва є на кожному підприємстві машинобудування і приладобудування. Сучасні технології очищення стічних вод від іонів важких металів не завжди дозволяють досягнути бажаного ступеню очищення. Тому необхідною є розробка нових технологій, які забезпечать як ефективне вилучення забруднюючих речовин із стічних вод, так і дозволять більш раціонально і комплексно використовувати воду та інші сировинні і енергетичні ресурси.

Огляд літературних джерел та формування мети і завдань наукового дослідження

Для очищення стічних вод від іонів важких металів застосовують хімічне осадження, мембранні технології, іонний обмін, флотацію, електрохімічні способи, коагуляцію, адсорбцію, дистиляцію. Більшість з цих способів дорогі і складні у виконанні.

В разі очищення стічних вод значних об'ємів і з невисоким вмістом іонів важких металів широко використовують сорбційне очищення. Для сорбції іонів важких металів із водних розчинів використовують вуглецеві та невуглецеві сорбенти. Вимогами до сорбентів є доступність, низька вартість, ефективність щодо вилучення забруднюючих речовин, можливість регенерації, простота утилізації, екологічна безпечність.

Широке застосування в якості вуглецевого сорбенту отримало активоване вугілля на основі деревини чи вугілля. Процес його виробництва є енерговитратним, а продукт – дорогим. В зв'язку з цим доцільною є регенерація таких сорбентів. Але і регенерація вуглецевих сорбентів є складним та енерговитратним процесом. Одним із шляхів здешевлення технології сорбційного очищення стічних вод від іонів важких металів є використання сорбентів, отриманих на основі відходів переробки сільськогосподарської продукції та вироб-

ництв харчових продуктів. Такі сорбенти відносяться до неживої біомаси і їх ще називають біосорбентами. Розробкою біосорбентів останнім часом активно займаються у світі. Разом з тим, їх промислове виробництво широко ще не налагоджене [1-26].

В Україні є багато харчових і сільськогосподарських підприємств. В ході їх діяльності утворюється значна кількість твердих відходів рослинного і тваринного походження. Частина таких відходів переробляється на біопаливо, частина використовується на годівлю тварин. Але значна частка таких відходів не утилізується, а вивозиться на звалища і створює екологічну проблему. Використання ж сорбентів на основі вторинної сировини харчових і сільськогосподарських підприємств дозволить підприємствам, які є джерелами забруднених іонами важких металів стічних вод підвищити економічну ефективність своїх виробництв за рахунок відсутності чи зменшення екологічних платежів, а також витрат на водопостачання і водовідведення при умові повторного використання очищених стічних вод у виробництві. Таким чином вирішуватимуться актуальні проблеми сьогодення – ресурсозбереження і забезпечення природної рівноваги в навколишньому середовищі [2].

Слід також ще зазначити, що використання в якості сорбентів місцевої сировини здешевить вартість очищення стічних вод. Сировина для виробництва сорбенту буде постійно, оскільки Україна - аграрна держава. Крім того, питання регенерації сорбентів стане менш актуальним, оскільки відпрацьований сорбент можна утилізувати, наприклад, як біопаливо [2].

Для створення та розвитку в Україні виробництва сорбентів на основі відходів переробки рослинної і тваринної сировини необхідно спершу вивчити стан питання з розробки таких матеріалів у світі. Це і стало метою даного наукового дослідження.

Для досягнення сформульованої мети необхідним є вирішення низки завдань, а саме:

- проаналізувати, які з відходів переробки рослинної і тваринної сировини вже досліджували з метою подальшого їх використання в якості біосорбентів для очищення стічних вод від іонів важких металів;
- вивчити технології отримання таких біосорбентів;
- порівняти сорбційні характеристики різних біосорбентів та визначити, за якими механізмами відбуваються процеси біосорбції;

- проаналізувати показники економічної ефективності виробництва біосорбентів.

Матеріали і методи дослідження

Оскільки за мету роботи визначено виконання аналітичного огляду за темою дослідження, то основним методом дослідження є теоретичні. Для порівняння сорбційних характеристик і ефективності технологій отримання біосорбентів використовували показник статичної обмінної ємності сорбенту Цей показник відображає кількість адсорбованого металу (в мг чи ммоль) одним грамом сорбенту [3, 4] і є, як правило, є усередненою величиною. В роботі аналізували обмінну ємність сорбентів за відношенням до іону міді. Так як значення цього показника в літературних джерелах представлені в різних одиницях розмірності, то для зручності порівняльного аналізу, вони були перераховані в одну розмірність, а саме в мг/г. Для окремих видів біосорбентів такий перерахунок зробити було неможливим, так як автори сорбційні властивості досліджених сорбентів відобразили ступенем вилучення забруднюючої речовини із воді у відсотках від початкової її концентрації (E , %).

Результати роботи та їх обговорення

З літературних джерел відомо, що для очищення стічних вод в якості природніх вуглецевих сорбентів перспективними розглядаються сорбційні матеріали, отримані на основі шкарлупи кокосового та кедрового горіхів, лузги рису та гречки, соломи, шкарлупок бобових, соєвих шротів, лузги соняшнику, качанів кукурудзи, хітинвмісних матеріалів, отриманих при комплексній переробці крилю, креветок, крабів та інші відходи. Також зазначається, що перспективною сировиною можуть бути кісточки плодів дерев (абрикосу, вишні, сливи, персику) та насінневих культур (яблука, виноград). Сорбційні властивості виявляє фільтруючий матеріал на основі шкарлупи лісових і грецьких горіхів, а також кісточок оливи [5, 6].

Відходи переробки сільськогосподарської продукції і виробництва продуктів харчування мають високий вміст вуглецю і низьку зольність, але в більшості випадків невисоку сорбційну ємність. Тому таку сировину необхідно піддавати спеціальній обробці. Адсорбційні властивості підготовленого фільтруючого матеріалу покращуються внаслідок формування більш розвинутої структури пор та збільшення площі внутрішньої поверхні сорбції [7].

Наприклад, класична технологія отримання пористих вуглецевих сорбентів на основі деревини передбачає термічну обробку сировини без доступу кисню. При цьому із сировини видаляються волога і частково смоли. Структура отриманого в результаті такого оброблення вугілля є крупнопористою, тому воно ще не є ефективним сорбційним матеріалом. Для надання напівфабрикату мікропористої структури його активують одним з двох основних способів – окисненням газом (або паром) чи обробленням хімічними реагентами.

При парогазовій активації використовують діоксид вуглецю (при 900 °C) і водяну пару (при 850 °C). При активації газом частина вугілля вигорає. Ступінь обвуглювання визначає вид пор (якщо його значення дорівнює 50 %, то переважають мікропори, а якщо 75 % - то макропори). Каталізаторами реакції активації вугілля паром можуть бути оксиди і карбонати лужних металів, а також сполуки заліза і міді.

При хімічній активації вугілля – напівфабрикат обробляють солями, які при високій температурі виділяють газ-активатор (карбонатами, сульфатами, нітратами, а також кислотами (азотною, соляною, сірчаною, фосфорною та інш.) чи концентрованими розчинами солей (хлоридів цинку, магнію, заліза, амонію, тіоціонатів калію, карбонатів натрію та інших. Зокрема, при використанні останніх реагентів целюлоза сировини переходить в розчин, при підвищенні температури якого виділяється аморфний високодисперсний вуглець, який формує мікропористу структуру сорбенту. Хімічну активацію проводять при температурах від 200 до 650 °C в залежності від реагентів, що використовують [7].

Окрім вирішення завдання покращення сорбційних характеристик біосорбентів, спеціальна обробка вторинної рослинної і тваринної сировини необхідна ще тому, що використання необроблених відходів може спричинити вторинне забруднення води. Значний вміст в такій сировині органічних речовин відобразиться на підвищенні значень ХСК та БСК внаслідок збільшення в стічних водах концентрації водорозчинних сполук вуглецю

Вибір технології отримання біосорбенту на основі відходів переробки сільськогосподарської продукції та виробництв продуктів харчування залежить від хімічного складу вихідної сировини та її фізико-хімічних властивостей, а також хімічних властивостей речовини, що адсорбується. Огляд літературних джерел дозволив узагальнити відомості про технології отримання таких біосорбентів та їх сорбційну ємність по відношенню до одного із характерних для стічних вод іонів важких металів, а саме іонів міді (табл. 1).

Аналіз даних, наведених в табл. 1, свідчить, що для отримання біосорбентів можуть бути застосовані як прості (механічне подрібнення), так і більш складні (карбонізація, хімічна модифікація) технології. При цьому, практично однакового значення сорбційної обмінної ємності біосорбенту можна в одному випадку (наприклад, лузга соняшника) досягнути лише подрібненням сировини, а в другому випадку (наприклад, активоване вугілля із шкарлупи кокосу) лише після дегідратації, піролізу, активації паром та розчином кислоти.

Механізми біосорбції іонів металів досить складні. Це і фізична адсорбція, і електростатичне тяжіння, і осадження, і хімічна взаємодія із функціональними групами, і взаємодії іонів металів з поверхневими структурами мікроорганізмів, їх метаболітами

Таблиця 1

Технології отримання та сорбційні характеристики біосорбентів

Сировина	Технології отримання біосорбентів	СОБ, мг/г	Література
Цукрова тростина	Хімічна модифікація: - бікарбонатом натрію; - етилендіаміном; - триетилтетраміном.	114,0 139,0 133,0	[8]
Відходи переробки моркви	Хімічна модифікація соляною кислотою	32,74	[9]
Целюлоза цукрового буряка	Хімічна модифікація соляною кислотою	0,15	[10]
Хлопкова целюлоза	Оброблення полівінілпіролідном з концентрацією (40...100) г/л	41,3...46,07	[11]
Лушпиння рису	Хімічна модифікація винною кислотою	29,0	[12]
Лузга насіння соняшнику	Двоступенева карбонізація при 300 та 500 °С	19,61	[13]
Соевий шрот і жмих насіння соняшнику	Механічне подрібнення Після вилучення меланіну оброблення 0,25М розчином NaOH (рН=9,0) Хімічна модифікація кислотою	14,0 25,0 18,0	[14]
Пшенична солома	Хімічна модифікація розчином натрієвої солі монохлороцтової кислоти в кількості (1...10) % від маси сорбенту	E = 99,4...99,8 %	[15]
Шкірка бананів	Подрібнені кусочки оброблені 10-%-ним розчином HNO ₃ , промито дистильованою водою і нейтралізовано 1М розчином NaOH, промито до рН=7 та висушено.	5,72	[16]
Шкірка апельсинів	Хімічна модифікація розчином HNO ₃ з наступною нейтралізацією розчином NaOH та промиванням водою.	4,75	[16]
Хітозан	Хімічна модифікація розчином HNO ₃ з наступною нейтралізацією розчином NaOH та промиванням водою. Лужний гідроліз, деацетилювання хітину екзоскелету молюсків і ракоподібних (при рН=3,2)	3,65 40,03	[16] [17]
Відходи птахофабрик	Дегідратація при 170 °С протягом 1 с, піроліз при 700 °С при τ = 45 хв в атмосфері азоту і активація паром протягом 45 хв, промивання 0,1 М розчином HCl, потім водою і сушіння при 105 °С.	12,71	[18]
Кісточки вишні	Піроліз сировини з наступним окисненням (повітрям, озоном, HNO ₃ , перекиснем водню)	15...28	[19]
Шкарлупа кедрових горіхів	Прожарювання шкарлупи з доступом кисню при температурі (290...300) °С, окиснення розчином HNO ₃ і перекиснем водню	7,94	[20]
Шкарлупа лісового горіху	Карбонізація з наступною активацією водяною паром Аналогічно + вплив ультразвуку	99,76 119,77	[21]

Продовження таблиці 1

Шкарлула арахісу	Хімічна модифікація розчинами лимонної кислоти і NaOH	7,60	[22]
Порошок із кори пробкового дерева	Хімічна модифікація: - хлоридом кальцію;	15,6	[23]
	- хлоридом натрію;	19,5	
	- гідроксидом натрію;	18,8	
	- гіпохлоритом натрію;	18,0	
	- іодатом натрію.	19,0	
Виробництво чаю: - відходи чайного виробництва	Сушіння сировини при температурі 25...26 °С і подрібнення	E=76%	[3]
- зелене листя чаю		E=62%	
- насіння чайного куща		E=40%	
- відходи чайного виробництва		8,64 ± 0,51	[24]
Для порієння: Промисловий зразок гранульованого активованого вугілля із шкарлули кокосу	Дегідратація при 170 °С протягом 1 с, піроліз при 700 °С при τ = 45 хв в атмосфері азоту і активація парою протягом 45 хв, промивання 0,1 М розчином HCl, потім водою і сушіння при 105 °С.	14,93	[25]

та екзополімерами. В кожному випадку механізм сорбції індивідуальний і визначається хімічним складом вихідної сировини, технологією отримання сорбенту і його сорбційними властивостями, хімічною будовою речовини, що адсорбується та її стану в розчині.

Так, наприклад, обробка розчином луку відходів лузги соняшнику, яка містить целюлозу, лігнін та геміцелюлозу, підвищує розчинність меланоїдного компонента, а також призводить до розщеплення нерозчинного комплексу біополімерів з виділенням водорозчинних полісахаридів. Вилучення водо- і лужнорозчинних речовин із сировини дозволяє функціональним групам лігніну стати більш доступними для іонів важких металів. В результаті відбувається інтенсифікація процесу хемосорбції. Лужне середовище сприяє утворенню гідроксидів металів, які залишаються в порах адсорбенту і вилучення не потребують. Кислотна ж обробка відходів рослинної сировини призводить до часткового гідролізу лігніну. Це і обумовлює погіршення сорбційних характеристик біосорбенту. Погіршення сорбційних властивостей біосорбенту в порівнянні з попередніми двома способами оброблення, пояснюють значною кількістю баластних речовин, що перешкоджають процесу хемосорбції [14].

При переході до промислового виробництва біосорбентів, крім всього вище зазначеного, необхідно враховувати показники економічної ефективності виробництва. Адже високі капітальні витрати можуть нівелювати всі інше переваги природних сорбентів на основі відходів переробки рослинної і тваринної сировини. Визначенню показників економічної ефективності біосорбентів присвячено роботу [4]. Вартість 1 тони біосорбентів (в цінах на 2015 рік), отриманих за різними технологіями наведено в табл. 2.

Таблиця 2

Вартість біосорбентів

Вид сорбенту	Біосорбент, отриманий із лузги соняшника		Вугілля активоване, медичне
	після кислотно (HCl) – лужного (NaOH) оброблення	після низькотемпературного оброблення	
Вартість біосорбенту, грн/т	1944	1303,2	2685,6

Дані табл. 2 демонструють економічну привабливість виробництва сорбентів на основі рослинної сировини. Такі біосорбенти, крім того що вони ефективно вилучають іони міді із стічних вод, ще є й дешевшими за традиційне деревне активоване вугілля.

Таким чином, виконаний огляд стану технологій сорбентів на основі відходів вторинної рослинної і тваринної сировини показав, що наукові дослідження в цьому напрямку активно проводяться. Це пов'язано з можливістю організації процесу очищення стічних вод від іонів важких металів дешевим і ефективним способом. Для України розвиток виробництва біо-

сорбентів актуальний, оскільки розвиток сільського господарства та харчової промисловості є пріоритетним. Тому подальші дослідження будуть спрямовані на аналіз сировинної бази України з метою вибору об'єктів для виробництва біосорбентів, розробку технології отримання нового сорбційного матеріалу та експериментальне дослідження кінетики процесів сорбційного очищення стічних вод від іонів важких металів.

Висновки

1. Забруднення природних водойм стічними водами із вмістом іонів важких металів створює серйозну екологічну проблему. Для її вирішення сьогодні застосовують різні технології, які не завжди є ефективними, крім того потребують значних витрат коштів. Перспективними є технології, що використовують процеси очищення стічних вод за допомогою вуглецевих сорбентів, отриманих на основі відходів переробки сільськогосподарської продукції та виробництв продуктів харчування.

2. В якості ефективних біосорбентів може бути використана сировина, в хімічному складі якої є високий вміст целюлози, лігніну, геміцелюлози, пектинових і поліфенольних речовин. Для покращення сорбційних властивостей біосорбентів на основі відходів переробки рослинної і тваринної сировини необхідна її спеціальна обробка, яка залежить від особливостей хімічного складу сировини та може включати такі процеси, як механічне подрібнення, карбонізацію, піроліз, кислотний і лужний гідроліз.

3. Механізми біосорбції іонів важких металів із стічних вод індивідуальні для кожного фільтруючого матеріалу і базуються на одному чи комплексі фізичних, фізико-хімічних чи біологічних процесів.

4. Сорбційна обмінна ємність більшості біосорбентів не відрізняється, а в окремих випадках є кращою за аналогічний показник деревного активованого вугілля, що традиційно використовується у водопідготовці. Вартість вуглецевих біосорбентів в (1,3...2,0) рази нижче вартості деревного активованого вугілля промислового виробництва.

Література

1. Wan Ngah, W.S. Removal of heavy metal ions from wastewater by chemically modified plant wastes as adsorbents: A review / W.S. Wan Ngah, M.A.K.M. Hanafiah // *Bioresource Technology*. – 2008. – V.99. – P. 3935–3948.
2. Шмандий В.М., Безденежных Л.А., Харламова Е.В. Использование адсорбентов, полученных из отходов, для улучшения состояния среды обитания человека // *Гигиена и санитария*, 2012. – №6. – С.44 – 45.
3. Церцвадзе Л.А., Дзадзамания Т.Д., Петриашвили Ш.Г., Чуткерашвили Д.Г., Киркесали Е.И., Фронтасьева М.В., Павлов С.С., Гундорина С.Ф. Биосорбция металлов из многокомпонентных бактериальных растворов // *Препринт Объединенного института ядерных исследований*, Дубна, 2002. – 14 с.
4. Ямансарова Э.Т., Хасанова Д.Н., Абдуллин М.И., Громько Н.В. Экономические аспекты применения

сорбентов на основе сельскохозяйственных отходов для очистки природных вод от нефти и продуктов на ее основе // Научный журнал НИ УИТМО. – Серия: Экономика и экологический менеджмент. – №1, 2016. – С.118–122.

5. Серпокрялов Н.С., Борисова В.Ю., Хамел А., Кондакова Н.В. Модификация рисовой соломы с целью получения сорбционного материала для очистки водных сред от ионов аммония // Инженерно-строительный вестник Прикаспия: научно-технический журнал / Астраханский государственный архитектурно-строительный университет. Астрахань: ГАОУ АО ВО «АГАСУ», 2016, №4 (18). – С.53–56.

6. Долбня И.В. Сорбционный материал на основе абрикосовой косточки для очистки сточных вод от нефтепродуктов // Водоочистка. Водоподготовка. Водоснабжение. 2015. – №4 (88).

7. Новый справочник химика и технолога. Процессы и аппараты химических технологий. Ч. II. – СПб.: НПО «Профессионал», 2006. – 916 с. – ISBN 5-91259-003-8

8. Junior O.K., Gurgel L.V.A., de Melo J.C.P., Botaro V.R., Melo T.M.S., de Freitas Gil R.P., Gil L.F. Adsorption of heavy metal ion from aqueous single metal solution by chemically modified sugarcane bagasse // Bioresour. Technol., 2006. – № 98. – P. 1291–1297.

9. Nasemejad B., Zadeh T.E., Pour B.B., Bygi M.E., Zamani A. Comparison for biosorption modeling of heavy metals (Cr(III), Cu(II), Zn(II)) adsorption from wastewater by carrot residues // Process Biochem., 2005. – №40. – P. 1319–1322.

10. Pehlivan E., Cetin S., Yanik B.H. Equilibrium studies for the sorption of zinc and copper from aqueous solutions using sugar beet pulp and fly ash // J. Hazard. Mater. 2006. – № 135. – P. 193–199.

11. Сионихина А.Н. Сорбция ионов тяжелых металлов из водных растворов целлюлозосодержащим сорбентом, модифицированным поливинилпирролидоном / А.Н. Сионихина, Т.Е. Никифорова // Фундаментальные исследования. – 2011. – №12. – С. 773–776.

12. Wong K.K. Removal of Cu and Pb by tartaric acid modified rice husk from aqueous solutions / K.K. Wong, C.K. Lee, K.S. Low, M.J. Haron // Chemosphere. – 2003. – V.50. – P. 23–28.

13. Хохряков А.А. Новые эффективные сорбенты (поглотители) на основе шелухи риса для сбора проливов и очистки вод / А.А. Хохряков, А.А. Ежелев, С.В. Половцев, С.А. Креножицкая, В.Б. Мошковский // Вода и экология. Проблемы и решения. – 2007. – №3. – С. 46–52.

14. Жашуева К.А., Сиволобов Н.О., Грачева Н.В., Сикарская А.В. Очистка воды от ионов тяжелых металлов адсорбентами на основе растительного сырья // Вестник технологического университета, 2017. – Т.20, №7. – С.142–143.

15. Патент 2329098RU. Способ извлечения ионов тяжелых металлов из водных растворов / Т.Е. Никифорова, В.А. Козлов, М.В. Родионова. – Оуб. 20.07.2008.

16. Annadurai G., Juang H.S., Lee D.J., Adsorption of heavy metal from water using banana and orange peels // Water Sci. Technol. 2002. – №47. – P. 185–190.

17. Modrzejewskaa Z. Sorption of copper by chitosan hydrogel: Kinetics and equilibrium / Z. Modrzejewskaa, G. Rogackia, W. Sujkaa, R. Zarzyckib // Chemical Engineering and Processing: Process Intensification. – 2016. – V.109. – P. 104–113.

18. Guo M. Poultry litter-based activated carbon for removing heavy metal ions in water / M. Guo, G. Qiu, W. Song // Waste Management. – 2010. – V.30. – P. 308–315.

19. Jaramillo J. Enhanced adsorption of metal ions onto functionalized granular activated carbons prepared from cherry stones / J. Jaramillo, V. Gomez-Serrano, P.M. Alvarez // Journal of Hazardous Materials. – 2009. – V. 161. – P. 670–676.

20. Патент №2329948. Способ получения окисленного угля из растительного сырья для очистки сточных вод от ионов меди / Л.Н. Адеева, М.В. Одинцова. – Оубл. 27.07.2008.

21. Milenkovic D.D. Ultrasound-assisted adsorption of copper (II) ions on hazelnut shell activated carbon / D.D. Milenkovic, P.V. Dasic, V.B. Veljkovich // Ultrasonics Sonochemistry. – 2009. – V.16. N.4. – P. 557–563.

22. Shukla S.R., Pai R.S. Adsorption of Cu(II), Ni(II) and Zn(II) on dye loaded groundnut shells and sawdust. // Sep. Purif. Technol., 2005. – №43. – P. 1–8.

23. Chubar N., Calvalho J.R., Correia M.J.N. Heavy metals biosorption on cork biomass: effect of the pre-treatment // Colloids Surf., 2004. – №A 238. – P. 51–58.

24. Çay S. Single and binary component adsorption of copper (II) and cadmium (II) from aqueous solutions using tea-industry waste / S. Çay, A. Uyanık, A. Özaşık // Separation and Purification Technology. – 2004. – V. 38. – P.273–280.

25. Глинина Е.Г. Использование растительного сырья для очистки промышленных сточных вод от ионов меди / Е.Г. Глинина, А.С. Ульянова // Естественные науки. – 2009. – №4. – С.172–175.

26. Шевелева И.В., Холомейдик А.Н., Войт А.В., Земнухова Л.А. Сорбенты на основе рисовой шелухи для удаления ионов Fe (III), Cu (II), Cd (II), Pb (II) из растворов // Химия растительного сырья, 2009, № 4. – С.171–176.

Reference

1. Wan Ngah, W.S. Removal of heavy metal ions from wastewater by chemically modified plant wastes as adsorbents: A review / W.S. Wan Ngah, M.A.K.M. Hanafiah // Bioresource Technology. – 2008. – V.99. – P. 3935–3948.

2. Shmandiy VM, Bezdenezhnykh LA, Kharlamova EV Use of adsorbents derived from waste to improve the state of the human environment // Hygiene and Sanitation, 2012. – №6. – P.44–45.

3. Tsertsvadze LA, Dzadzamaniya TD, Petriashvili ShG, Chutkerashvili DG, Kirkesali EI, Frontasyaeva MV, Pavlov SS, Gundorina SF Biosorption of metals from multicomponent bacterial solutions // Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research, Dubna, 2002. – 14 p.

4. Yamansarova ET, Khasanova DN, Abdullin MI, Gromyko NV Economic aspects of the application of sorbents on the basis of agricultural wastes for the purification of natural waters from oil and products based on it, // Scientific journal NI UITMO. – Series: Economics and Environmental Management. – No. 1, 2016. – P.118–122.

5. Serpokrylov NS, Borisova V.Yu., Hamel A., Kondakova N.V. Modification of rice straw for the purpose of obtaining a sorption material for cleaning aqueous media from ammonium ions // Engineering and construction bulletin of the Caspian Sea: scientific and technical journal / Astrakhan State University of Architecture and Civil Engineering. Astrakhan, 2016, №4 (18). – P.53–56.

6. Dolbnya I.V. Sorption material based on apricot kernel for wastewater treatment from oil products // Water purification. Water treatment. Water supply. 2015. - No. 4 (88).
7. A new directory of chemist and technologist. Processes and equipment of chemical technologies. Part. II. - St. Petersburg: Scientific and Production Association «Professional», 2006. - 916 p. - ISBN 5-91259-003-8
8. Junior O.K., Gurgel L.V.A., de Melo J.C.P., Botaro V.R., Melo T.M.S., de Freitas Gil R.P., Gil L.F. Adsorption of heavy metal ion from aqueous single metal solution by chemically modified sugarcane bagasse // Bioresour. Technol., 2006. - № 98. - P. 1291–1297.
9. Nasemejad B., Zadeh T.E., Pour B.B., Bygi M.E. Zamani, A. Comparison for biosorption modeling of heavy metals (Cr(III), Cu(II), Zn(II)) adsorption from wastewater by carrot residues // Process Biochem., 2005. - №40. - P. 1319–1322.
10. Pehlivan E., Cetin S., Yanik B.H. Equilibrium studies for the sorption of zinc and copper from aqueous solutions using sugar beet pulp and fly ash // J. Hazard. Mater. 2006. - № 135. - P. 193–199.
11. Sionikhina A.N. Sorption of heavy metal ions from aqueous solutions with a cellulose-containing sorbent modified with polyvinylpyrrolidone / A.N.Sionikhina, T.E. Nikiforova // Fundamental research. - 2011. - № 12. - P. 773-776.
12. Wong K.K. Removal of Cu and Pb by tartaric acid modified rice husk from aqueous solutions / K.K. Wong, C.K. Lee, K.S. Low, M.J. Haron // Chemosphere. - 2003. - V.50. - P. 23–28.
13. Khokhryakov A.A. New efficient sorbents (absorbers) based on rice husks for the collection of straits and water purification. Khokhryakov, A.A. Ezheleev, S.V. Polovtsev, S.A. Krenozhetskaya, V.B. Moshkovsky // Water and Ecology. Problems and solutions. - 2007. - №3. - P. 46-52.
14. Zhashueva K.A., Sivolobov NO, Gracheva N.V., Sikarska A.V. Purification of water from ions of heavy metals by adsorbents on the basis of vegetable raw materials // Bulletin of the Technological University, 2017. - T.20, №7. - P.142 - 143.
15. Patent 2329098 RU. Method for extraction of heavy metal ions from aqueous solutions / T.E. Nikiforova, V.A. Kozlov, M.V. Rodionov. Published 07/20/2008.
16. Annadurai G., Juang, H.S., Lee, D.J., Adsorption of heavy metal from water using banana and orange peels // Water Sci. Technol. 2002. - №47. - P. 185–190.
17. Modrzejewskaa Z. Sorption of copper by chitosan hydrogel: Kinetics and equilibrium / Z. Modrzejewskaa, G. Rogackia, W. Sujkaa, R. Zarzyckib // Chemical Engineering and Processing: Process Intensification. - 2016. - V.109. - P. 104-113.
18. Guo M. Poultry litter-based activated carbon for removing heavy metal ions in water / M. Guo, G. Qiu, W. Song // Waste Management. - 2010. - V.30. - P. 308–315.
19. Jaramillo J. Enhanced adsorption of metal ions onto functionalized granular activated carbons prepared from cherry stones / J. Jaramillo, V. Gomez-Serrano, P.M. Alvarez // Journal of Hazardous Materials. - 2009. - V. 161. - P. 670-676.
20. Patent No. 2299948. Method for producing oxidized coal from plant raw materials for wastewater treatment from copper ions / L.N. Adeeva, M.V. Odintsov. - Published. 27.07.2008.
21. Milenkovic D.D. Ultrasound- assisted adsorption of copper (II) ions on hazelnut shell activated carbon / D.D. Milenkovic, P.V. Dasic, V.B. Veljkovich // Ultrasonics Sonochemistry. - 2009. - V.16. N.4. - P. 557-563.
22. Shukla S.R., Pai R.S. Adsorption of Cu(II), Ni(II) and Zn(II) on dye loaded groundnut shells and sawdust. // Sep. Purif. Technol., 2005. - №43. - P. 1–8.
23. Chubar N., Calvalho J.R., Correia M.J.N. Heavy metals biosorption on cork biomass: effect of the pre-treatment // Colloids Surf., 2004. - №A 238. - P. 51–58.
24. Çay S. Single and binary component adsorption of copper (II) and cadmium (II) from aqueous solutions using tea-industry waste / S. Çay, A. Uyanık, A. Özaşık // Separation and Purification Technology. - 2004. - V. 38. - P.273–280.
25. Glinina E.G. Use of plant raw materials for purification of industrial wastewater from copper ions / E.G. Glinina, A.S. Uyanov // Natural sciences. -2009. - № 4. - P.172-175.
26. Sheveleva IV, Holomeydik AN, Voit AV, Zemnukhova LA Sorbents based on rice husk to remove Fe (III), Cu (II), Cd (II), Pb (II) ions from solutions. // Chemistry of Plant Raw Materials, 2009, N 4. - P.171 - 176.

УДК 628.543

ВІДХОДИ ПЕРЕРОБКИ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ ПРОДУКЦІЇ ТА ВИРОБНИЦТВА ХАРЧОВИХ ПРОДУКТІВ ЯК ЕФЕКТИВНІ ФІЛЬТРУЮЧІ МАТЕРІАЛИ ДЛЯ ОЧИЩЕННЯ СТІЧНИХ ВОД ВІД ІОНІВ ВАЖКИХ МЕТАЛІВ

**О.О. Коваленко, В.В. Новосельцева,
Н.О. Коваленко**

*Одеська національна академія
харчових технологій*

Стаття присвячена питанням екологічної безпеки, ресурсозбереження, ефективності, в тому числі і економічної, в технологіях очищення стічних вод від іонів важких металів. Показано, що сучасні технології очищення стічних вод від таких речовин потребують удосконалення, а перспективним шляхом вирішення цієї проблеми є налагодження виробництва та широке використання, зокрема в Україні, вуглецевих сорбентів на основі відходів переробки сільськогосподарської продукції та виробництв харчових продуктів.

В статті представлено результати аналітичного огляду літературних джерел за різними аспектами наукової проблеми. Зокрема, в статті приділено увагу вибору рослинної і тваринної сировини для виробництва біосорбентів, технологіям їх отримання, механізмам біосорбції та сорбційним характеристикам біосорбентів, показникам економічної ефективності їх виробництва.

Ключові слова: стічні води, іони важких металів, біосорбція, технології, механізми, показники ефективності.

УДК 628.543

**ОТХОДЫ ПЕРЕРАБОТКИ
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ
ПРОДУКЦИИ И ПРОИЗВОДСТВА
ПРОДУКТОВ ПИТАНИЯ КАК
ЭФФЕКТИВНЫЕ ФИЛЬТРУЮЩИЕ
МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ОЧИСТКИ
СТОЧНЫХ ВОД ОТ ИОНОВ
ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ**

**Е.А. Коваленко, В.В. Новосельцева,
Н.А. Коваленко**

*Одесская национальная академия
пищевых технологий*

Статья посвящена вопросам экологической безопасности, ресурсосбережения, эффективности, в том числе и экономической, в технологиях очистки сточных вод от ионов тяжелых металлов. Показано, что современные технологии очистки сточных вод от таких веществ требуют усовершенствования. Перспективным путем решения этой проблемы является налаживание производства и широкое использование, в частности в Украине, углеродных сорбентов на основе отходов переработки сельскохозяйственной продукции и производства пищевых продуктов.

В статье представлены результаты аналитического обзора литературных источников по различным аспектам научной проблемы. В частности, в статье уделено внимание выбору растительного и животного сырья для производства биосорбентов, технологиям их получения, механизмам биосорбции и сорбционным характеристикам биосорбентов, показателям экономической эффективности их производства.

Ключевые слова: сточные воды, ионы тяжелых металлов, биосорбция, технологии, механизмы, показатели эффективности.

**WASTE OF PROCESSING OF
AGRICULTURAL PRODUCTION AND
PRODUCTION OF FOOD PRODUCTS
AS EFFECTIVE FILTERING
MATERIALS FOR WASTEWATER
TREATMENT WITH IONS OF HEAVY
METALS**

**O.O. Kovalenko, V.V. Novoseltseva,
N.O. Kovalenko**

Odessa national academy of food technologies

The article is devoted to the issues of ecological safety, resource saving, efficiency, including economic ones, in wastewater treatment technologies from heavy metal ions. It is shown that modern technologies for wastewater treatment from such substances should be improved. A promising way to solve this problem is to promote the production and wide use of carbon sorbents, especially in Ukraine, on the basis of agricultural and food processing waste.

The article presents the results of an analytical review of literary sources on various aspects of the scientific problem. In particular, the article focuses on the selection of plant and animal raw materials for the production of biosorbents, their technologies, biosorption mechanisms and sorption characteristics of biosorbents, as well as indicators of economic efficiency of production.

Key words: waste water, heavy metal ions, biosorption, technologies, mechanisms, efficiency indicators.

Впервые поступила в редакцию 17.10.2017 г. Рекомендована к печати на заседании редакционной коллегии после рецензирования.