

РОЗРОБЛЕННЯ СПОСОБУ ОТРИМАННЯ СОРБЕНТУ ІЗ БАГАСИ СОРГО ЦУКРОВОГО ДЛЯ ЗНЕШКОДЖЕННЯ ҐРУНТІВ, ЗАБРУДНЕНИХ ІОНАМИ ВАЖКИХ МЕТАЛІВ

Григоренко Н. О., Купчик Л. А., Штангеева Н. І.

1. Вступ

Запорукою успішного розвитку країни є збереження та відновлення довкілля: ґрунтів, повітря, природних джерел води, флори та фауни. Відомо, що накопичення токсичних важких металів у ґрунтах та депресуюча взаємодія їх з ґрунтовою мікрофлорою негативно впливає на продуктивність земельних угідь та якість аграрної продукції [1].

Для знешкодження забруднених ґрунтів використовують наступні методи очистки [2–4]:

1. Механічний – видалення забрудненого ґрунту та транспортування його в місця захоронення. Недоліком методу є те, що забруднюючі речовини просто переїжджають в інше місце, де вони повинні контролюватись, а при вилученні та транспортуванні можливе поширення забруднення за рахунок розпилювання ґрунту. Крім того, цей метод є дороговартісним.

2. Біологічний – вирощування на забруднених ґрунтах певних рослин (фіторе mediaція). Цей метод набагато дешевший, але вимагає набагато більше часу. Крім того, рослинна біомаса, що накопичує токсикант має бути утилізована чи захоронена.

3. Адсорбційний – додавання до ґрунту хімічних речовин, що переводять розчинні форми забруднювачів в менш небезпечні нерозчинні. Цей метод фіксації та стабілізації токсикантів не утворює відходів і є найбільш екологічно прийнятним. Тому в останній час в деяких публікаціях підіймається питання можливого покращення екологічного стану та продуктивності земляних угідь шляхом використання в тій чи іншій формі сорбентів різного типу [5].

В країнах Західної Європи виготовляються в промислових об'ємах і мають дозвіл на використання в сільському господарстві ряд сорбуючих матеріалів специфічної дії, в основному, на мінеральній основі [6]. Відомі роботи по спільному використанню мінеральних добрив і цеолітів для зменшення переходу важких металів у рослини [7].

Раніше розроблялись методи фітосорбції, що базувались на використанні сорбентів, мікробіоти і ряду рослин для очищення ґрунту від радіонуклідів [8]. Між тим, комплексний підхід, який би включав використання хімічно модифікованих сорбентів для виділення із ґрунту і міцного фіксування в їх порах іонів важких металів (зокрема, кадмію, свинцю та стронцію) до поточного часу ніколи не використовувався.

Таким чином, розробка нових сорбційних технологічних заходів та матеріалів, представляється актуальною з точки зору збереження довкілля та

розвитку ефективного землеробства, а по суті, задачею стратегічною, що захищає національні інтереси України.

Тому виникає нагальна потреба пошуку та розробки нових інноваційних технологій по отриманню рослинних сорбентів, застосування яких у сільськогосподарському виробництві суттєво зменшить антропогенне навантаження на навколишнє природне середовище.

2. Об'єкт дослідження та його технологічний аудит

Об'єктом досліджень є промислові відходи рослинної сировини сорго цукрового (лігноцелюозна багаса) та створений на її основі модифікований сорбент для очищення ґрунтів забруднених іонами важких металів.

Перспективною сировиною для отримання сорбентів є знецукрена лігноцелюозна багаса стебел сорго цукрового, яка залишається після отримання цукровмісного продукту і вихід якої складає біля половини від загальної вихідної маси стебел. Слід враховувати і економічну значимість переробляння дешевої вуглецевмісної сировини, яка є відходом виробництва і в подальшому наразі не має практичного використання. Тому за умов комплексного переробляння біосировини сорго цукрового у замкнутому циклі можна отримати високорентабельне виробництво із суттєвим скороченням витратних матеріалів. Таке виробництво передбачає отримання із соку стебел цукровмісний продукт для харчової промисловості, а з відходів виробництва – сорбент екологічного призначення.

В ході дослідження використовували знецукрену подрібнену лігноцелюозну багасу (вихідна сировина) та мерсеризовану лігноцелюозну багасу, яку отримували шляхом хімічного модифікування вихідної сировини.

Технологічні параметри лігноцелюозної багаси: середній розмір часток 5–8 мм, вміст вологи 4 %, целюлози 39,2 %, лігніну 14,4 %.

Одним із найбільш проблемних місць у технології харчового цукровмісного продукту із сорго цукрового є значна кількість відходів – знецукреної лігноцелюозної багаси. Цей відхід на разі не використовується взагалі, або частково використовується як паливо. Іншою проблемою є значне забруднення ґрунтів іонами важких металів, які можуть мігрувати у рослинну продукцію.

3. Мета та задачі дослідження

Метою даного дослідження є розроблення способу хімічного переробляння відходів рослинної сировини сорго цукрового.

Для досягнення поставленої мети необхідно виконати такі задачі:

1. Дослідити умови проведення процесу мерсеризації лігноцелюозної багаси сорго цукрового.

2. Визначити структурно-поруваті та іонообмінні властивості вихідної та мерсеризованої багаси, а також дослідити морфологічну та хімічну структуру їх поверхні.

3. Дослідити сорбційно-кінетичні властивості вихідної та мерсеризованої багаси по відношенню до іонів Cd^{2+} , Pb^{2+} і Sr^{2+} .

4. Дослідження існуючих рішень проблеми

Відомо, що найбільш простими, доступними та ефективними є сорбційні методи очищення ґрунтів, де в якості сорбентів використовують дешеві рослинні відходи, що утворюються безпосередньо в умовах сільськогосподарського виробництва: шроти, лушпиння, висівки, ошурки [9].

Багатотоннажні промислові відходи біомаси сорго цукрового також можуть бути використані для отримання на їх основі матеріалів з високими сорбційними характеристиками для зв'язування токсичних важких металів у ґрунтах [10, 11].

Традиційно технологія отримання сорбентів із рослинної сировини передбачає окиснення (гідроліз) рослинного матеріалу під дією сильних мінеральних кислот при високій температурі. Після кислотної обробки проводять лужне активування та багаторазове промивання до нейтральної реакції промивних вод і т. п. [12]. При такому обробленні вихід сорбенту становить 20–30 %, в той же час утворюється значна кількість продуктів розкладання і великі об'єми шкідливих стічних вод, які забруднюють довкілля і потребують використання високовартісного антикорозійного обладнання.

З урахуванням цього виникає потреба у пошуку менш затратних і екологонебезпечних технологій перероблення рослинних біополімерів з отриманням сорбентів.

Альтернативним способом одержання сорбентів може бути обробка лігноцелюлозних рослинних біополімерів розчином луґу (мерсеризація) [13]. Даний спосіб досить активно використовується для обробки целюлозного волокна хвойних порід деревини, а також бавовни у паперовій промисловості [14, 15].

При обробці відходів рослинної сировини луґом спостерігається часткова руйнація молекулярних зв'язків між волокон біополімерів і перехід у розчин низькомолекулярних фракцій полісахаридів, структурний каркас лігноцелюлозної матриці при цьому зберігається, а його здатність до набрякання – зростає [16]. Важливою зміною, з точки зору отримання сорбенту, є те, що зберігаючи цілісність, рослинні волокна покращують свою структурно-порувату будову за рахунок збільшення внутрішньої адсорбційної поверхні [17,18].

Крім того, головними перевагами даного способу отримання сорбенту є його нескладність у апаратурному оформленні, незначні витрати води і відсутність шкідливих стічних вод.

Підсумовуючи вищенаведений аналіз літературних джерел, вважаємо, що перспективним напрямком удосконалення технології виготовлення рослинних сорбентів є спосіб отримання сорбенту для іонів токсичних металів шляхом мерсеризації лігноцелюлозного відходу із сорго цукрового.

5. Методи дослідження

В якості вихідної сировини використовували знецукрену повітряно-суху подрібнену лігноцелюлозну багасу сорго цукрового (*Sorghum Saccharatum* (L.) Moench) з середнім розміром частинок 5–8мм і вмістом вологи 4 %. Вміст целюлози у вихідній сировині сорго цукрового склав 39,2 %, а лігніну 14,4 %. Продукт мерсеризованої лігноцелюлозної багаси отримували шляхом хімічного модифікування вихідної сировини водним розчином гідроксиду натрію,

концентрацією 120 г/л за температури 10–15°C, протягом 60 хвилин у різних співвідношеннях твердої фази до рідини (гідромодулі).

При дослідженні структурно-поруватих, сорбційних та іонообмінних властивостей вихідної та модифікованої лігноцелюлозної багаси використовували як загальноприйняті, так і спеціальні методи. Так, величини статичної обмінної ємності (СОЄ, мг-екв/г) визначали згідно стандарту за величиною сорбції 0,1 н розчину HCl та 0,1 н розчину NaOH [19]. Морфологічну структуру зразків вихідної та мерсеризованої лігноцелюлозної багаси було досліджено за допомогою методу SEM (Scanning Electron Microscopy) за умови підготовки зразків згідно методики [20]. Мікрофотографії досліджуваних зразків були зроблені на електронному мікроскопі JEOL моделі JSM-5500LV (Японія) з дисперсійним енергетичним аналізатором EDS/EDX/EDAX і ESEM.

Хімічну структуру поверхні мерсеризованої багаси та визначення на її поверхні функціональних груп досліджували методом інфрачервоної (ІЧ)-спектроскопії на спектрометрі Nicolet NEXUSFT-IR (США) з вбудованим пристроєм дифузного відбиття SMART Collector.

Сорбційні досліди були проведені в статичних умовах із модельних розчинів ґрунтових змивів забруднених іонами важких металів згідно [21, 22].

Визначення концентрації іонів важких металів проводили на атомно-адсорбційному спектрометрі КАС-1(SELMA)(Україна) після атомізації проб в повітряно-ацетиленовому полум'ї. Метод ґрунтується на властивості атомів у основному стані поглинати світло визначених і специфічних для кожного типу атомів довжин хвиль.

6. Результати досліджень

В дослідженнях було використано вторинний сировинний ресурс – лігноцелюлозна знецукрена багаса, яка залишається після отримання цукровмісного продукту. Головними складовими компонентами багаси є целюлоза та лігнін, що зв'язані в біополімерні комплекси, котрі мають в необробленому вигляді слабкі сорбційні властивості через фібрилярну будову та низький вміст в них вільних функціональних груп. За умов проведення процесу мерсеризації цих матеріалів покращується їх морфологічна структура та фізико-хімічні характеристики.

Так, в табл. 1 приведені дані, що характеризують структурно-поруваті та іонообмінні властивості вихідної та мерсеризованої лугом (концентрацією 120 г/л) багаси (при різних гідромодулях обробки).

Таблиця 1

Характеристики властивостей вихідної та мерсеризованої багаси

Гідромодуль	Питома насипна вага, г/см ³	Ступінь набрякання у воді, г/г	Статична обмінна ємність по Na ⁺ , мг-екв/г	Статична обмінна ємність по СІ, мг-екв/г	Вихід сорбенту, %
Вихідна багаса	0,36	4,8	0,45	0,12	–
1:5	0,26	5,9	1,38	0,45	87
1:10	0,16	6,8	1,44	0,38	64
1:20	0,12	12,5	1,65	0,41	59

З отриманих результатів видно, що в процесі мерсеризації сировини частина матеріалу переходить в розчин, питома насипна вага при цьому зменшується в 1,5–2,5 рази. Вихід готового сорбенту складає 60–80 % від вихідної кількості сировини та знижується лише у випадку використання максимального гідромодуля.

Результати титрування сорбентів з мерсеризованої багаси 0,1 н HCl і 0,1 н NaOH свідчать про досить високі величини статичної обмінної ємності як по катіонах лужних металів, так і по аніонах хлору. Статична обмінна ємність (COE) по катіонах Na^+ складає для необробленої багаси 0,45 мг-екв/г. Це свідчить про наявність в сировині протогенних груп, скоріш за все спиртового типу. В результаті мерсеризації багаси COE матеріалу збільшується як по аніонах Cl^- , так і по катіонах Na^+ . Це створює передумови для підсилення його сорбційної активності в реакціях іонообмінної та комплексоутворювальної сорбції багатозарядних катіонів перехідних і важких металів, зокрема, і токсичних Cd^{2+} , Pb^{2+} , Sr^{2+} .

Підтвердженням даних результатів є дослідження, які характеризують морфологічну структуру поверхні вихідної та мерсеризованої багаси (рис. 1, 2).

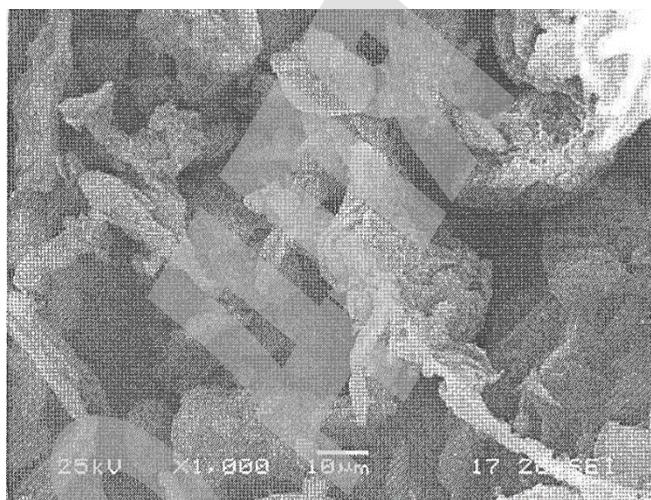


Рис. 1. Мікрофотографії поверхні вихідної багаси

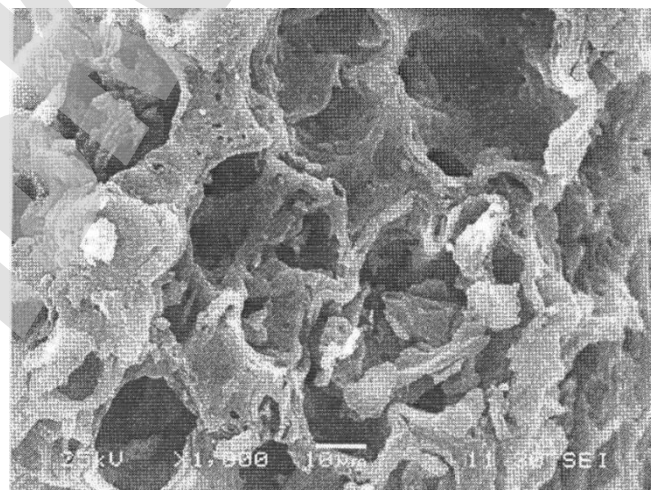


Рис. 2. Мікрофотографії поверхні мерсеризованої багаси

Так, на рис. 1 не спостерігається клітинна структура матеріалу, вірогідно тому, що багаса зазнала попереднього пресування та висушування. На мікрофотографії видні нитки целюлози та глобули лігніну, котрі утворюють досить щільну поруватість, що перешкоджає доступу сорбатів до поверхневих утворень. На рис. 2 чітко видно рельєфність поверхні багаси після мерсеризації, що свідчить про ефективність такої обробки. Можна бачити, що пори мають форму, наближену до циліндричних та сферичних, проте така особливість спостерігається не на всій поверхні зразка. Переважний розмір пор складає 10–18 нм, що за міжнародною класифікацією дозволяє віднести отримані сорбенти до класу мезо- і мікро- поруватих [23].

Таким чином, проведені порівняльні мікроскопічні дослідження поверхні вихідної та мерсеризованої багаси дозволяють побачити зміни поверхні мерсеризованої багаси, що свідчать про ефективність модифікування багаси способом лужної обробки. Збільшення поруватості та ефективної поверхні контакту має сприяти підвищенню адсорбційних характеристик отриманих сорбентів.

Хімічну структуру поверхні мерсеризованої багаси та визначення на її поверхні функціональних груп досліджували методом ІЧ-спектроскопії. Зразок сорбенту зважували, розмішували з порошком KBr у масовому співвідношенні 1:20 і перетирали в ступці до однорідності. Спектри знімали в діапазоні від 400 до 4000 cm^{-1} та розшифровували відповідно до метода ІЧ-спектроскопії для аналізу рослинної сировини [24]. У всіх спектрах досліджуваного зразка виявлені смуги поглинання, що характеризують його загальний хімічний склад.

Слід зазначити, що багатоскладова структура рослинного матеріалу утруднює аналіз та дає можливість лише ймовірно встановити основні складові поверхні мерсеризованої багаси, оскільки області відбиття і поглинання можуть накладатися або зміщуватися. На рис. 3 представлена залежність відбиття електронів (%) від величини, що зворотна довжині хвилі $1/\lambda$ (хвильове число).

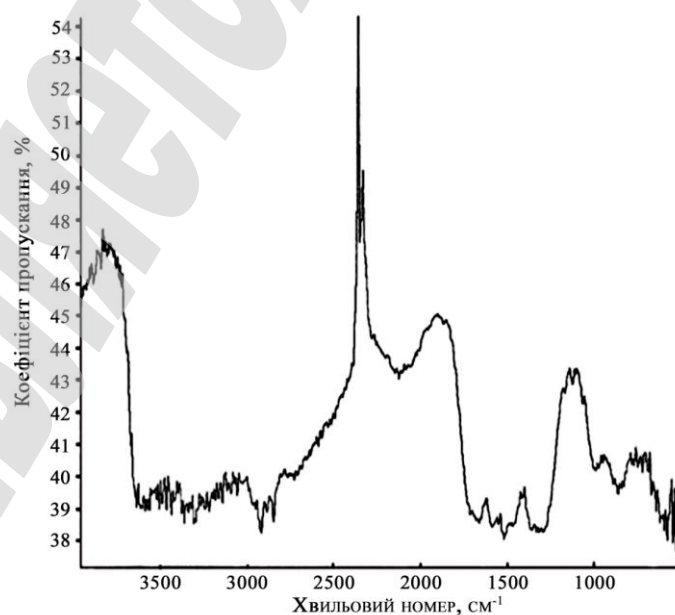


Рис. 3. ІЧ-спектральний аналіз зразка мерсеризованої багаси

Особливу увагу привертає область деформаційних коливань $1450\text{--}1650\text{ см}^{-1}$, де спостерігаються чотири піки, що свідчать про наявність на поверхні ароматичних структур. Вони утворені коливаннями полуторних вуглець-вуглецевих зв'язків скелету. Якщо розглядати більш детально перший пік в області 1600 см^{-1} , то можна зробити припущення про заміщення атомів ароматичного кільця. У даному випадку видно, що пік зміщений до області $1650\text{--}1585\text{ см}^{-1}$, що свідчить про три несиметричні заміщувачі. Це також підтверджується піком в області $1525\text{--}1475\text{ см}^{-1}$. Складна картина має місце в області нижче 700 см^{-1} . Однак смуга відбиття поблизу 750 см^{-1} підтверджує наявність заміщувачів в положенні 1,2,4 з одним незаміщеним воднем у положенні 3. Відбиття в області $1110\text{--}1070\text{ см}^{-1}$ свідчить про заміщення у положеннях 1, 2, 3 і 1, 3, 5.

В області $650\text{--}810\text{ см}^{-1}$ можна визначити наявність полі циклічних сполук, проте така інтерпретація буде не зовсім точною через наявність перекриття спектрів.

Деформаційні коливання в області $750\text{--}650\text{ см}^{-1}$ виникають в результаті наявності зв'язаних груп (--OH) і дають дуже широкі смуги. Відбиття в області $1000\text{--}1075\text{ см}^{-1}$ свідчать про заміщення в групі (--OH). Відбиття в області 1180 см^{-1} зазвичай відповідає деформаційним коливанням (--OH).

Наявність на поверхні карбоксильних груп (--COOH) вдалося встановити по піку в області 950 см^{-1} , який відповідає деформаційним коливанням (--OH) карбоксильних груп. В області $1400\text{--}1440\text{ см}^{-1}$ спостерігаються валентні коливання (C--O), що відповідає карбоксильним групам. Також поблизу 1850 см^{-1} спостерігається пік, що відповідає циклічному ангідриду, він пов'язаний з коливанням карбонільних груп (C=O). Поглинання в області 1380 см^{-1} відповідає радикалу альдегідного типу (RCON). Радикалом при цьому може бути і циклічна сполука. Присутність альдегідних груп також підтверджується коливаннями (C--H) з двома смугами в області $2860\text{--}2900\text{ см}^{-1}$. Пік поглинання в області 1760 см^{-1} відповідає коливанням групи атомів (--COOH) в димерних молекулах.

Складна картина спостерігається в області приблизно 3000 см^{-1} . Ця смуга дає три і більше смуг для циклічних сполук та їх характеристичних коливань (=C--H). Присутність великої кількості збуджень в області $3300\text{--}3650\text{ см}^{-1}$ ускладнює інтерпретацію цієї області, однак можна сказати, що практично вся вона відповідає коливанням амінів (RNH_2).

Таким чином, аналіз мікрофотографій вихідної і мерсеризованої багаси засвідчив, що в результаті хімічного модифікування вихідної сировини відбувається зміна структурно-поруватої будови матеріалу. При цьому, за рахунок часткового гідролізу та «розпушування» рослинних волокон багаси і покращення доступу до функціональних груп, підвищується здатність матеріалу до реакцій приєднання, комплексоутворення та іонного обміну. В той же час, ІЧ спектральний аналіз дозволив встановити наявність заміщених іонами металів (здебільшого натрієм) гідрофільних функціональних груп спиртового та кислотного типу. В матеріалі також виявлені аміногрупи, що свідчить про присутність амінокислот в мерсеризованій багасі.

На наступному етапі досліджували сорбційну активність мерсеризованої багаси по відношенню до іонів Cd^{2+} , Pb^{2+} і Sr^{2+} .

Дослідження процесу сорбції іонів токсичних важких металів нативною та мерсеризованою багатою здійснювали в статичних умовах з модельних водних змивів ґрунтів, забруднених іонами свинцю, кадмію та стронцію. Методика сорбційних дослідів передбачала внесення у модельні розчини (з початковою концентрацією важких металів у них 5 ммоль/л) наважки сорбентів 0,5 г та тримання на шейкері протягом певного проміжку часу за температури 20 °С. Під час сорбції через кожні 20 хв. суспензію фільтрували, в фільтраті визначали вміст іонів важких металів методом атомно-адсорбційної спектрометрії. Кількість сорбційно вилучених важких металів (A , ммоль/г) розраховували за формулою:

$$A = \frac{(C_o - C_p) \cdot V}{m \cdot 1000}, \quad (1)$$

де C_o , C_p – концентрація іонів важкого металу (вихідна і рівноважна), ммоль/л;

V – об'єм розчину, мл;

m – маса наважки сорбенту, г.

На рис. 4, 5 приведені кінетичні характеристики сорбційного вилучення іонів важких металів вихідною та мерсеризованою багасою.

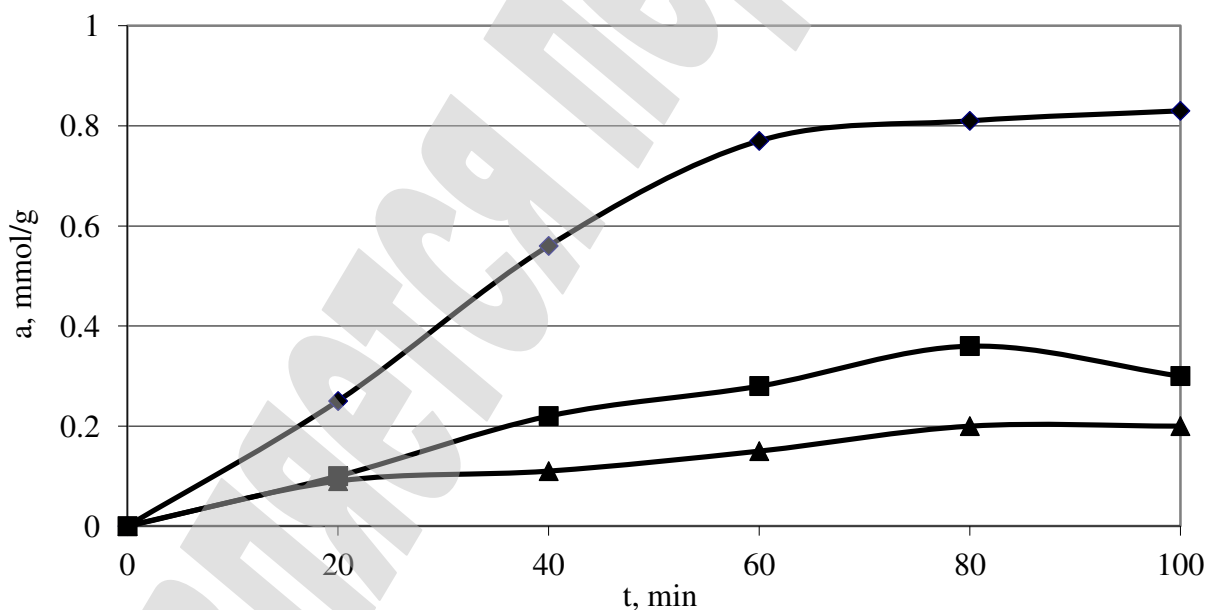


Рис. 4. Кінетика сорбції іонів важких металів вихідною багасою:

◆ – Pb^{2+} ; ■ – Cd^{2+} ; ▲ – Sr^{2+}

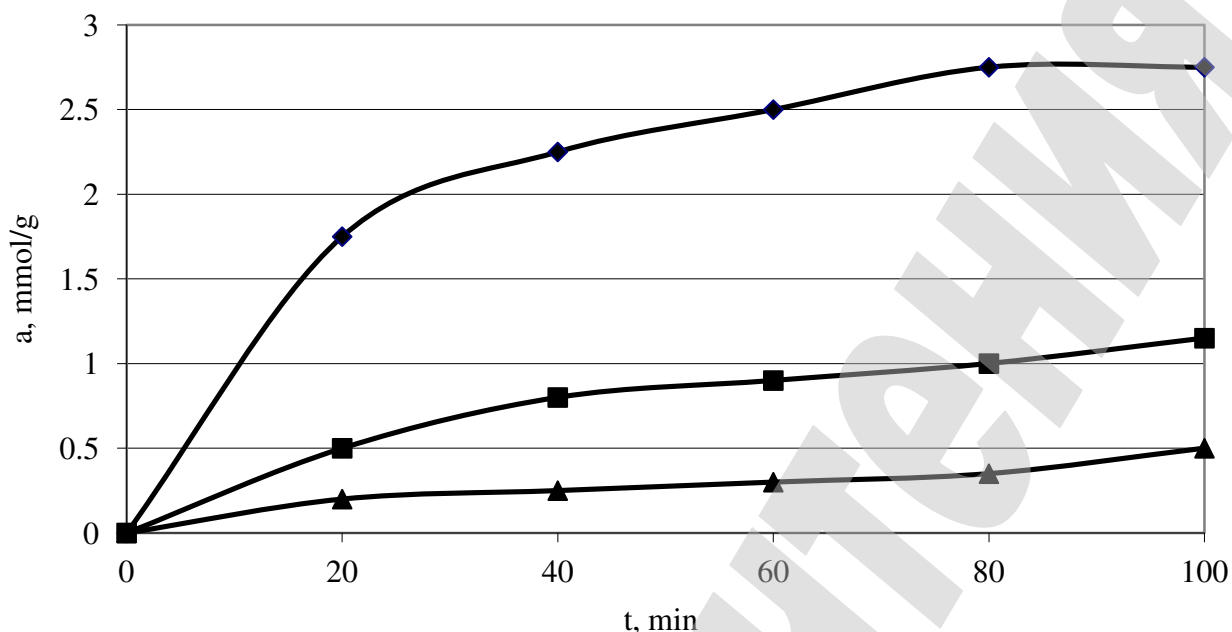


Рис. 5. Кінетика сорбції іонів важких металів мерсеризованою багасою:
 ◆ – Pb²⁺; ■ – Cd²⁺; ▲ – Sr²⁺

Із отриманих кінетичних кривих для вихідної багаси (рис. 4) видно, що сорбційна рівновага в системі настає протягом 60–80 хв. При цьому максимальна сорбційна ємність складає по Pb²⁺ приблизно 0,85 ммоль/г, по Cd²⁺ – 0,37 ммоль/г та по Sr²⁺ – 0,20 ммоль/г. Ці дані свідчать про те, що нативна багаса має невисокі сорбційно-кінетичні властивості.

Дослідження кінетичних властивостей мерсеризованої багаси при сорбції іонів важких металів з ґрунтових змивів (рис. 5) показали, що сорбційна рівновага настає приблизно вдвічі швидше, а максимальні величини сорбції збільшуються в 2–3 рази. Результати цих дослідів свідчать про те, що мерсеризація багаси суттєво змінює склад функціональних груп та іонообмінні властивості поверхні одержаних зразків, впливаючи таким чином на їх сорбційну здатність. Сорбенти, одержані шляхом мерсеризації багаси, мають більш високу сорбційну ємність по відношенню до іонів важких металів порівняно з необробленою багасою.

Проведені дослідження виявили, що існуюча проблема забруднених ґрунтів в Україні існує. Хімічні забруднювачі можуть зберігатись у ґрунті довгі роки і, включаючись до екологічних ланцюгів, зумовлювати тривалу дію токсикантів. За даними Національного наукового центру «Інституту землеробства НААН» (смт Чабани, Київська обл., Україна) нині близько 20 % території України забруднено важкими металами [25].

Дану проблему можна частково вирішити, використовуючи для знешкодження ґрунтів розроблені сорбенти. Результати дослідно-лабораторних випробувань сорбенту, створеного шляхом мерсеризації лігноцелюлозної багаси сорго цукрового свідчать, що його кінетичні властивості збільшуються у 2–3 рази у порівнянні з вихідною багасою. Крім того, отримані кількісні характеристики сорбції іонів Cd²⁺, Pb²⁺ і Sr²⁺ зі складних ґрунтових витяжок

створюють умови. А також відкривають нові можливості для цілеспрямованого використання мерсеризованої багаси для сорбційного зв'язування і міцного фіксування у її порах іонів важких металів.

7. SWOT-аналіз результатів досліджень

Strengths. Позитивна дія дослідження полягає в розробці ефективного і економічно доцільного технологічного процесу одержання сорбенту шляхом хімічного модифікування лігноцелюлозного відходу (багаси). Одержаний результат вигідно відрізняється від аналогів за структурно-поруватими характеристиками, кількістю поверхневих функціональних груп та забезпечує високий вихід готового продукту.

Weaknesses. Слабкі сторони даного дослідження пов'язані з тим, що запропоновані рішення апробовані лише на модельних розчинах ґрунтів, забруднених іонами свинцю, кадмію та стронцію. За умов застосування розробленого сорбенту у промислових масштабах, його сорбційні властивості можуть змінюватись. Оскільки, в разі застосування сорбенту у промислових умовах виникає вплив додаткових факторів на процес сорбції, а саме ґрунтово-кліматичні умови проведення процесу знешкодження ґрунтів, витрати та умови внесення сорбуючого елементу, тощо. Тому, всі ці чинники потребують проведення подальших практичних досліджень в агропромисловості, задля знешкодження ґрунтів від іонів важких металів, покращення їх продуктивності та розвитку ефективного землеробства.

Opportunities. Отримані позитивні результати дії мерсеризованої багаси утворювати нерозчинні комплексні сполуки з іонами важких металів, дають підстави для подальшого практичного їх використання в якості сорбенту для знешкодження ґрунтів від забруднювачів.

Подальші дослідження за даним напрямком необхідно спрямувати на вивчення питання ефективності дії отриманого сорбенту за різних умов і витрат в промислових технологічних умовах на ділянках забруднених ґрунтів. А також на розроблення нормативної документації щодо технології виробництва сорбенту із лігноцелюлозної багаси сорго цукрового та застосування його в агротехнологіях.

Threats. В умовах сьогодення, країна має достатній технічний та технологічний потенціал для виробництва широкого спектру сорбентів промислового, екологічного та медичного призначення із лігноцелюлозних відходів. Це могло би не тільки наповнити її внутрішній ринок, а й експортувати сорбційні матеріали за кордон.

Однак, виробництво сорбційного матеріалу із лігноцелюлозних відходів сорго цукрового зараз ускладнюється, через відсутність належного вітчизняного обладнання для отримання даного продукту. Існуючі закордонні зразки обладнання відзначаються високою вартістю, що відповідно негативно вплине на зростання вартісної складової кінцевого продукту.

Тому подальші дослідження будуть спрямовані на підбір, а по можливості і розробці технологічного обладнання для лінії по переробці лігноцелюлозної багаси із сорго цукрового з отриманням модифікованого сорбенту для очищення ґрунтів від іонів важких металів.

8. Висновки

1. Отримано за представленим у роботі способом сорбент для знешкодження ґрунтів від іонів важких металів і встановлено оптимальні умови проведення процесу його виготовлення. Ці умови полягають у обробці лігноцелюлозних рослинних відходів сорго цукрового розчином гідроксиду натрію концентрацією 120 г/л луґу за температури 10–15 °С та співвідношенні твердої фази до рідини (гідромодулі) 1:10.

2. В результаті досліджень мікрофотографій вихідної і мерсеризованої багаси виявлено, що хімічне модифікування сировини призводить до зміни структурно-поруватої будови матеріалу. Це відбувається за рахунок часткового гідролізу та «розпушування» рослинних волокон багаси і покращення доступу до функціональних груп, які здатні до реакцій приєднання, комплексоутворення та іонного обміну. На основі ІЧ-спектрального аналізу встановлено наявність заміщених іонами металів (здебільшого натрієм) гідрофільних функціональних груп спиртового та кислотного типу.

3. За результатами досліджень вихідної та мерсеризованої багаси встановлено, що сорбційно-кінетичні властивості до іонів важких металів – Cd^{2+} , Pb^{2+} і Sr^{2+} у мерсеризованої багаси збільшуються в 2–3 рази у порівнянні з необробленою багасою.

Отримані результати, з урахуванням доступності сировинного ресурсу та задля комплексного його перероблення, дозволять обґрунтовано підходити до вирішення конкретних практичних задач, пов'язаних з розробкою модифікованих сорбентів. А також їх використання в якості ґрунтових добавок для знешкодження забруднених ґрунтів від токсичних важких металів та для унеможливлення подальшої міграції важких металів в рослинну продукцію.

Література

1. Васильев А. Современные подходы к решению проблемы загрязнения почв тяжелыми металлами // Экотехнологии и ресурсосбережение. 2000. № 5. С. 47–52.
2. Елліс Д. І. Інтегровані інженерні та наукові методи переробки забруднених ґрунтів // Хімія в інтересах сталого розвитку. 2008. № 2. С. 285.
3. Application of Phytotechnologies for Cleanup of Industrial, Agricultural and Waste Water Contamination / ed. by Kulakow P. A., Pidlisnyuk V. V. Dordrecht: Vetlag: Springer, 2010. 196 p. doi: <http://doi.org/10.1007/978-90-481-3592-9>
4. Phytoremediation, a sustainable remediation technology? Conclusions from a case study. I: Energy production and carbon dioxide abatement / Witters N. et. al. // Biomass and Bioenergy. 2012. Vol. 39. P. 454–469. doi: <http://doi.org/10.1016/j.biombioe.2011.08.016>
5. Yakovishina T. F. Ecological estimation of the sorbent-meliorate influence to the fertility agrochemical indexes by the detox cation of the heavy metals in the soil // Ekolohiia i pryrodokorystuvannia. 2008. Issue 11. P. 153–158. URL: <http://dspace.nbuv.gov.ua/handle/123456789/14402>
6. Slizovskiy I. B., Kelsey J. W., Hatzinger P. B. Surfactant-facilitated remediation of metal-contaminated soils: Efficacy and toxicological consequences to earthworms // Environmental Toxicology and Chemistry. 2010. Vol. 30, Issue 1. P. 112–123. doi: <http://doi.org/10.1002/etc.357>

7. Inventory of heavy metal content in organic waste applied as fertilizer in agriculture: evaluating the risk of transfer into the food chain / Lopes C. et. al. // Environmental Science and Pollution Research. 2011. Vol. 18, Issue 6. P. 918–939. doi: <http://doi.org/10.1007/s11356-011-0444-1>

8. Хохлов А. В., Хохлова Л. И, Бреус И. П. Перспективы использования иммобилизованных микроорганизмов-деструкторов для очистки экосистем от ксенобиотиков // Гигиена и санитария. 2009. № 5. С. 91–96.

9. Беляев Е. Ю., Беляева Л. Е. Использование растительного сырья в решении проблем защиты окружающей среды // Химия в интересах устойчивого развития. 2000. № 8. С. 763–772.

10. Григоренко Н. О., Штангеева Н. І., Купчик Л. А. Переробка відходів цукрового сорго (багаси) з метою отримання сорбентів // Цукор України. 2017. № 3. С. 33–36.

11. Григоренко Н. О., Купчик Л. А., Денисович В. О. Вилучення іонів міді лігніфікованою багасою із водних витяжок ґрунті // Наукові доповіді НУБіП України. 2018. № 2 (72). URL: <http://journals.nubip.edu.ua/index.php/Dopovidi/article/view/10638/9355>

12. Картель Н. Т., Купчик Л. А., Николайчук А. А. Синтез и свойства биосорбентов, полученных на основе целлюлозно-лигнинового растительного сырья – отходов агропромышленного комплекса // Сорбционные и хроматографические процессы. 2007. Т. 7, Вып. 3. С. 489–498.

13. Роговин З. А. Химия целлюлозы. М.: Химия, 1972. 520 с.

14. Смолин А. С., Дубовый В. К., Комаров Д. Ю., Канарский А. В. Пенный способ формирования фильтровальной бумаги на целлюлозной основе // Вестник технологического университета. 2016. Т. 19, № 15. С. 86–88.

15. Дубовой Е. В., Ковернинский И. Н., Смолин А. С., Канарский А. В. Адгезионные свойства стеклянного волокна и повышение прочности бумаги добавкой мерсеризованной целлюлозы // Вестник Технологического университета. 2017. Т. 20, № 12. С. 53–55.

16. Азаров В. И., Буров А. В., Оболенская А. В. Химия древесины и синтетических полимеров. СПб, 1999. 627 с.

17. Effect of Cellulose Pulp Type on the Mercerizing Behavior and Physical Properties of Lyocell Fibers / Chae D. W. et. al. // Textile Research Journal. 2003. Vol. 73, Issue 6. P. 541–545. doi: <http://doi.org/10.1177/004051750307300613>

18. Wang J., Chen C. Biosorbents for heavy metals removal and their future // Biotechnology Advances. 2009. Vol. 27, Issue 2. P. 195–226. doi: <http://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2008.11.002>

19. ГОСТ 20255.1-89. Иониты. Методы определения статической обменной емкости. Введен 1991-01-01. Москва: Изд-во стандартов, 2002. 5 с.

20. Кларк Е., Еберхард К. Микроскопические методы исследования материалов. М.: ТЕХНОСФЕРА, 2007. С. 326–339.

21. ДСТУ 4287:2004. Якість ґрунту. Відбирання проб. Чинний від 2004-04-30. Київ: Держспоживстандарт України, 2004. 9 с.

22. ДСТУ 4770.1:2007. Якість ґрунту. Визначення вмісту рухомих сполук марганцю (цинку, кадмію, заліза, кобальту, міді, нікелю, хрому, свинцю) в ґрунті в буферній амонійно-ацетатній витяжці з рН 4,8 методом атомно-

абсорбційної спектрофотометрії. Чинний від 2009-01-01. Київ: Держспоживстандарт України, 2007. 18 с.

23. Perovskites. Structure, Properties and Uses / ed. Borowski M. New York: Nova Science Publishers, 2011. 586 p.

24. Седин А. В., Орловская Т. В., Гаврилин М. В. Использование метода ИК-спектроскопии для анализа растительного сырья // Современные проблемы науки и образования. 2014. № 1. С. 45–49.

25. Важкі метали: надходження в ґрунти, транс локація у рослинах та екологічна безпека / Гришко В. М., Сищиков Д. В., Піскова О. М. та ін. Донецьк: Донбас, 2012. 304 с.