

ASSESSMENT OF THE POSSIBILITIES OF USING SORBENTS
IN WASTEWATER TREATMENTОЦІНКА МОЖЛИВОСТЕЙ ВИКОРИСТАННЯ СОРБЕНТІВ
ПРИ ОЧИЩЕННІ СТИЧНИХ ВОД**Liudmyla I. Demchuk**

ke_dlm@ztu.edu.ua

ORCID: 0000-0001-5698-7113

Lyudmyla Yu. Nonik

kgt_nlyu@ztu.edu.ua

ORCID: 0000-0003-4234-8948

Iryna M. Voinalovich

kgt_lim@ztu.edu.ua

ORCID: 0009-0000-1811-4928

Halyna V. Skiba

kpn_sgv@ztu.edu.ua

ORCID: 0000-0002-4981-4975

Л. І. Демчук,

канд. пед. наук, доцент

Л. Ю. Нонік,

аспірант, асистент

І. М. Войналович,

асистент

Г. В. Скиба,

канд. техн. наук, доцент

*Zhytomyr Polytechnic State University, Zhytomyr**Державний університет «Житомирська політехніка», м. Житомир*

Abstract. Ukraine has a large number of freshwater reserves – rivers and lakes. However, almost all of them are contaminated with harmful substances. The most harmful substances are heavy metals. The main sources of water pollution are industrial and agricultural wastewater, and as they develop, the volume of wastewater pollution is growing. In this regard, the need for clean water is growing. **Objective.** To investigate the sorption characteristics of new sorbents based on natural minerals and polyelectrolytes in relation to heavy metal ions and to determine the possibility of their use in solving environmental problems. **Methods.** X-rays are transverse electromagnetic vibrations with a wavelength of 10-2 – 10-2 Å. The method uses monochromatic X-rays, usually K_α-series lines (arising from the transition of electrons in atoms from the L-shell to the K_α-shell) of metals from chromium (denoted CrK_α) to molybdenum (MoK_α), whose wavelengths range from 2.3 to 0.7 Å. The use of X-rays for the study of crystalline substances is based on the fact that its wavelength is comparable to the distance between the orderedly arranged atoms in the lattice of crystals, which is a natural diffraction lattice. The essence of X-ray analysis methods is precisely the radiation of the diffraction pattern obtained by the reflection of X-rays by atomic planes in the crystal structure. The basis of X-ray analysis is the Wolfe-Bragg equation, which relates the angle of incidence or reflection of an X-ray beam on an atomic plane to its wavelength λ and the value of the interlunar distance d . **Results.** The study of sorption capacity under static conditions was carried out using model aqueous solutions of lead, molybdenum, and tungsten metal salts with a concentration of 1 g/L. The loading of sorbents was taken at the rate of 100 ml of model solution per 0.5 g of composite. The composite of montmorillonite with guanidine methacrylate (MMT/GM) 50:50 was chosen as the object of research. The study was carried out at room temperature. The mass concentration of metals in water samples before and after treatment with composites was measured by X-ray fluorescence analysis using an automated diffractometer DRON-6 at the collective use center of the KBGU "X-ray Diagnostics of Materials". The extraction of W(VI) and Mo(VI) ions from aqueous solution by composites was evaluated by the following parameters:

- concentration of ions in the initial solution and in the purified aqueous phase, mg/L;
- degree of metal removal, %.

The research results showed that the studied polymer-clay composites have high sorption characteristics in relation to the studied ions and are of significant practical interest for use in environmental technologies related to the regeneration of contaminated water sources.

Scientific novelty. The study of sorption characteristics of new sorbents based on natural minerals and polyelectrolytes in relation to heavy metal ions and the identification of the possibility of their use to solve environmental problems.

Practical significance. The assessment of the possibilities of using sorbents is that it can lead to real improvements in water quality, environmental protection, resource conservation and promotion of sustainable development.

Key words: assessment; environment; wastewater; waste; X-ray radiation; sorbent.

Анотація. На території України знаходиться велика кількість запасів прісних вод – це річки та озера. Однак практично всі вони забруднені шкідливими речовинами. Найбільш шкідливими речовинами є важкі метали. Основні шляхи забруднення водойм – це стоки промисловості і сільського господарства, а з їх розвитком все ростуть і обсяги забруднення стічних вод. У зв'язку з цим потреба в чистій воді зростає.

Мета. Дослідження сорбційних характеристик нових сорбентів на основі природних мінералів і поліелектролітів по відношенню до іонів важких металів і виявлення можливості їх використання для вирішення екологічних проблем. **Методика.** Рентгенівське випромінювання – поперечні електромагнітні коливання з довжиною хвилі 10-2 – 10-2 Å. У методі використовується монохроматичне рентгенівське випромінювання, зазвичай лінії K_{α} -серії (що виникають під час переходу електронів в атомах з L-оболонки на K_{α} -оболонку) металів від хрому (позначається CrK_{α}) до молібдену (MoK_{α}), довжини хвиль яких лежать в інтервалі від 2,3 до 0,7 Å. Застосування рентгенівського випромінювання для дослідження кристалічних речовин ґрунтується на тому, що його довжину хвилі можна порівняти з відстанню між впорядковано розташованими атомами в ґратки кристалів, яка для нього є природною дифракційною решіткою. Сутність рентгенівських методів аналізу якраз і полягає у випромінюванні дифракційної картини, що отримується під час відбиття рентгенівських променів атомними площинами в структурі кристалів. В основі рентгенографічного аналізу лежить рівняння Вульфа-Брегга, що пов'язує кут падіння або відбиття на атомну площину рентгенівського променя з його довжиною хвилі λ і величиною між площинних відстаней d . **Результати.** Вивчення сорбційної здатності в статичних умовах проводили з використанням модельних водних розчинів солей металів свинцю, молібдену, вольфраму з концентрацією 1 г/л. Завантаження сорбентів брали з розрахунку 100 мл модельного розчину на 0,5 г композиту. Як об'єкти досліджень було обрано композит складу монтморилоніт з метакрилатом гуанідину (ММТ/МАГ) 50:50. Дослідження проводили за кімнатної температури. Вимірювання масової концентрації металів у пробах води до і після обробки композитами проводили рентгенофлуоресцентним аналізом на автоматизованому дифрактометрі ДРОН-6 у центрі колективного користування КБГУ "Рентгенівська діагностика матеріалів". Вилучення іонів W(VI) і Mo(VI) з водного розчину композитами оцінювалося такими параметрами:

- концентрацією іонів у вихідному розчині та в очищеній водній фазі, мг/л;
- ступенем вилучення металу, %.

Результати досліджень засвідчили, що вивчені полімерно-глинисті композити володіють високими сорбційними характеристиками по відношенню до досліджуваних іонів та становлять суттєвий практичний інтерес для використання в екологічних технологіях пов'язаних з регенерацією забруднених вододжерел. **Наукова новизна.** Є дослідження сорбційних характеристик нових сорбентів на основі природних мінералів і поліелектролітів по відношенню до іонів важких металів і виявлення можливості їх використання для вирішення екологічних проблем. **Практична значимість.** Є оцінка можливостей використання сорбентів полягає в тому, що це може призвести до реальних покращень у якості води, збереженні навколишнього середовища, економії ресурсів та сприянні сталому розвитку.

Ключові слова: оцінка; навколишнє середовище; стічні води; відходи; рентгенівське випромінювання; сорбент.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

У даний час застосовуються кілька методів очищення стічних вод: механічні, хімічні, фізико-хімічні та біологічні. Найчастіше на підприємствах застосовуються комбіновані методи. Включають кілька методів в комплексі. Концентрацію шкідливих речовин вони знижують в кілька разів щодо початкового (забрудненого) рівня. Однак до гранично-допустимих концентрацій знизити їх рівень не вдається. Застосовувані методи ефективно очищають стічні води при великих концентраціях шкідливих речовин, але коли концентрації низькі – ефективність їх очищення різко зменшується. Тому існує необхідність в доочищення стічних вод.

Найбільш перспективні напрямки придбали ресурсозберігаючі технології, що дозволяють при мінімальних витратах найбільш ефективно очищати стічні води. Одним з таких напрямів є сорбційні методи, які широко застосовуються для глибокого очищення стічних вод. Найскладнішим об'єктом очищення є стічні

води з домішками важких металів. Більшість важких металів, що надходять у водойми, вирізняються канцерогенною, мутагенною і тератогенною дією.

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Автор дослідження Е.А. Бухарева пропонує використовувати доступні сорбенти з вторинної сировини, наприклад з таких як відходи полімерів [4]. Дане рішення дозволить вирішити відразу два питання: утилізацію відходів і очищення стічних вод. Відходи поліетилентерефталату (ПЕТ) і термопластів доступні, легко модифікуються і переробляються, і при цьому відрізняються високими показниками фізико-хімічних властивостей [4]. Авторами експериментально встановлено, що ефективність очищення досягається 99 %, якщо маса сорбенту для очищення води від нафтопродуктів становить 0,5 г/100 мл. Оцінка іонноадсорбційних властивостей була проведена фільтруванням модельних нікель- і залізовмісних водних розчинів.

У роботі «Доломітове борошно – новий сорбент для очищення нафтозабруднених стічних вод» показана можливість використання доломітового борошна в якості сорбенту для стічних вод, що містять органічні сполуки нафтопродуктів, фенолів та іони важких металів [7]. Сумарний вміст карбонатів кальцію і магнію в доломітовому борошні не менше 85 %. При цьому не менше 80 % частинок доломіту мають розмір менше 0,071 мм.

У роботі «Сучасна техніка та технології для очищення стічних вод від солей важких металів» показана можливість використання термічно модифікованого (400–600 °C) бруситу при очищенні вод від іонів важких металів на прикладі Mn, Fe [5].

ВІДОКРЕМЛЕННЯ НЕВИРІШЕНИХ РАНІШЕ ЧАСТИН ЗАГАЛЬНОЇ ПРОБЛЕМИ

Вчені-екологи вже давно прагнуть надолужити та виправити помилки цивілізації. Вони стверджують, що природа розвивається за власними незворотними і жорсткими законами, що темпи змін набагато повільніші, ніж революційні та експоненціальні зміни ступеня людського прогресу, і що його вектори все ще спрямовані на збільшення комфорту, незалежності від біосфери та максимальне використання.

Найбільш перспективні напрямки придбали ресурсозберігаючі технології, що дозволяють при мінімальних витратах найбільш ефективно очищати стічні води. Одним з таких напрямів є сорбційні методи, які широко застосовуються для глибокого очищення стічних вод.

МЕТА

Дослідження сорбційних характеристик нових сорбентів на основі природних мінералів і поліелектролітів по відношенню до іонів важких металів і виявлення можливості їх використання для вирішення екологічних проблем.

МЕТОДИ, ОБ'ЄКТ ТА ПРЕДМЕТ ДОСЛІДЖЕННЯ

Так як при сорбції відбувається безпосередній контакт між полютантом і поверхнею сорбенту, то важливо отримати саме таку поверхню, яка б максимально поглинала ці шкідливі речовини. Тому необхідно не тільки створити сорбент, а й дослідити його структуру, склад, морфологію поверхні.

Скануючі електронні мікроскопи створені для здійснення аналізу нано- та мікроструктури поверхні струмопровідних зразків. Устаткування растрових електронних мікроскопів дозволяє аналізувати морфологію поверхні різних матеріалів, виконувати обчислення форми, розмірів, орієнтації і певних параметрів, нано- та мікрооб'єктів у великому діапазоні розмірів від декількох сантиметрів до нанометрів зі збільшенням більше 1 млн. разів.

У рамках рентгенографічного методу існує рентгенофазовий аналіз, який залежно від розв'язуваних

завдань поділяють на якісний і кількісний. Завдання якісного рентгенофазового аналізу – ідентифікація природи кристалічних фаз, що містяться в досліджуваному матеріалі. Аналіз ґрунтується на тому, що кожна індивідуальна кристалічна сполука дає специфічну рентгенограму з певним набором ліній (дифракційних максимумів) і їхньою інтенсивністю. В даний час є рентгенографічні дані про велику кількість відомих кристалічних сполук, еталонні рентгенограми яких наводяться в довідковій літературі або окремих публікаціях.

Об'єктом дослідження є комплексний підхід до використання сорбентів у процесі очищення стічних вод з метою оптимізації ефективності, екологічної безпеки та економічної доцільності даного процесу. Об'єктом дослідження полягає в оцінці можливостей використання сорбентів при очищенні стічних вод є сам процес очищення стічних вод за допомогою сорбентів. Основні аспекти об'єкта дослідження можуть включати:

1. Характеристика стічних вод: Дослідження різноманітності та характеристик стічних вод, які підлягають очищенню. Це може включати визначення типів забруднюючих речовин, їх концентрації та характеру.

2. Вибір сорбентів: Аналіз доступних сорбентів та їх властивостей в контексті забруднень, що присутні у конкретних стічних водах. Визначення оптимальних сорбентів для видалення конкретних забруднюючих речовин.

3. Оптимізація умов очищення: Дослідження впливу різних умов на ефективність використання сорбентів, таких як температура, pH середовища, час контакту тощо.

4. Ефективність очищення: Визначення ефективності сорбентів у видаленні конкретних забруднюючих речовин, а також загальної ефективності очищення стічних вод після застосування сорбентів.

5. Екологічні аспекти: Оцінка впливу застосування сорбентів на навколишнє середовище, включаючи можливість утворення вторинних забруднюючих речовин та взаємодію з природними процесами водоочищення.

6. Економічна ефективність: Вивчення витрат на виробництво та використання сорбентів, а також порівняння з іншими методами очищення стічних вод з економічної точки зору.

7. Технологічні аспекти: Розгляд технічних аспектів застосування сорбентів, включаючи можливість їхньої інтеграції в існуючі системи очищення стічних вод.

Предметом дослідження оцінки можливостей використання сорбентів при очищенні стічних вод є вивчення ефективності та придатності різних сорбентів для видалення забруднюючих речовин з водних відходів. Основні аспекти дослідження можуть включати:

1. Ефективність очищення: Оцінка того, наскільки ефективно сорбенти видаляють різні види забруднюючих речовин, таких як токсичні метали, органічні сполуки, кольорові речовини тощо.

2. Типи сорбентів: Дослідження різних типів сорбентів, таких як активне вугілля, полімерні сорбенти, природні матеріали (наприклад, земельні сорбенти), і визначення їхньої придатності для конкретних забруднень.

3. Кінетика сорбції: Вивчення швидкості та кінетики процесу сорбції для різних сорбентів та забруднень. Це може включати в себе аналіз часу, необхідного для досягнення рівноваги сорбції.

4. Вплив умов обробки: Аналіз впливу різних умов (температура, рН, концентрація забруднювачів) на ефективність сорбції.

5. Регенерація сорбентів: Вивчення можливостей та ефективності регенерації сорбентів для їхнього повторного використання.

6. Вартість та сталий розвиток: Оцінка економічної придатності використання сорбентів, а також їхній вплив на навколишнє середовище, щоб забезпечити сталий розвиток методів очищення стічних вод.

Дослідження в цьому напрямку може допомогти вдосконалити технології очищення стічних вод та зменшити вплив промисловості на середовище.

ОСНОВНИЙ МАТЕРІАЛ

Основним джерелом забруднення територій, що оточують полігони твердих побутових відходів, є фільтрат, що утворюється в тілі полігона, що є собою складний насичений високомінералізований водний розчин різних забруднювачів, серед яких особливо слід виділити фракцію важких металів. За відсутності надійних захисних пристроїв важкі метали надходять до ґрунту, поверхневих і підземних вод, чинячи істотний вплив на навколишнє середовище.

Більшість важких металів, що надходять із фільтратом у зовнішнє середовище, крім своєї токсичності здатні акумулюватися в організмі людини, викликаючи виражені мутагенні, ембріотоксичні, ембріотоксичні організми людини, викликаючи виражені мутагенні, ембріотоксичні та канцерогенні ефекти. Практичне використання відомих технологій видалення зі стоків важких металів на існуючих полігонах, як правило, виявляється недостатньо ефективним.

Аналіз існуючих на даний час методів очищення природних і стічних вод від важких металів показав, що одним із перспективних є сорбційний метод із використанням як сорбентів природних неорганічних матеріалів.

Одним із перспективних напрямів у науці про полімери та матеріалознавстві останніх років є одержання органо-неорганічних полімерних нанокомпозитів, що мають заданий комплекс властивостей [1]. Нанокомпозити об'єднують у собі такі хімічні, фізичні

та механічні властивості, яких не можна досягти при введенні неорганічних наповнювачів з макро- або мікроскопічною структурою.

Інтеркаляція в неорганічні шаруваті матеріали типу глинистих мінералів – чудовий шлях конструювання нових органо-неорганічних наноансамблів – супрамолекулярних утворень з оригінальною молекулярною структурою [2, 3]. Такий підхід викликає різнобічний інтерес. По-перше, надається практична можливість створення пошарових нанокомпозитів. По-друге, він важливий своєю незвичайною інтеркаляційною фізикохімією та її проявом у набутті системами поліпшених фізико-хімічних властивостей. Крім того, вивчення таких продуктів може дати важливу інформацію про природу хімічних взаємодій у них, специфіку адсорбції полімерів на нанорозмірних частинках тощо.

Природні шаруваті силікати, які зазвичай використовують у нанокомпозитах як наномірні частинки, належать до структурного сімейства типу 2:1. У шаруватих силікатах тину 2:1 октаедрична сітка укладена між двома сітками кремнекисневих тетраедрів. Головні елементи структури – кремнекисневий іон SiO_4 і алюмокисневий іон $\text{Al}(\text{O},\text{OH})_3$ [4, 5]. Будова природних глин, особливо ММТ, та їхні основні фізико-хімічні властивості, природа активної поверхні вивчені давно і досить детально [7].

Кристали ММТ складаються з шарів катіонів, що чергуються, і негативно заряджених шарів силікатів (рис. 1). Кожен шар перебуває на відстані від іншого шару, що визначається ван-дер-ваальсовими силами, і утворює міжшаровий простір або галерею. Галереї, як правило, містять катіони, що компенсують негативний заряд, сформований ізоморфною заміною атомів, що утворюють кристал (Mg^{2+} на місці Al^{3+} у монтморилоніті або Li^+ замість Mg^{2+} у гекториті). Переважно це катіони гідратованих лужних або лужноземельних металів.

Частковий позитивний заряд, сформований на кожному катіоні всередині галереї, робить його гідрофільним. Монтморилоніт, наприклад, має значну енергію гідратації. Завдяки цьому в галереях може утримуватися велика кількість молекул води, що своєю чергою дає змогу нейтралізувати частковий заряд за рахунок іон-дипольної взаємодії [7].

Гідрофільність алюмосилікатів є причиною їхньої несумісності з органічною полімерною матрицею – це основна проблема, яку доводиться долати при створенні полімерних нанокомпозитів.

Модифікація алюмосилікатів може бути здійснена шляхом заміщення неорганічних катіонів усередині прошарків органічними катіонами. Заміщення катіонними поверхнево-активними речовинами, такими, як об'ємні амоній- і фосфоній-іони, збільшує простір між шарами, зменшує поверхневу енергію глини і надає поверхні глини гідрофобного характеру [8].

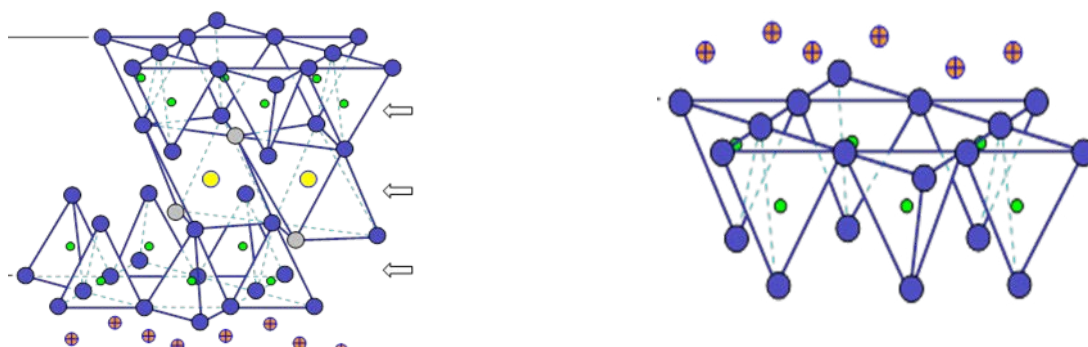


Рис. 1. Структура шаруватого силікату: а) шаруватий силікат; б) обмінні процеси

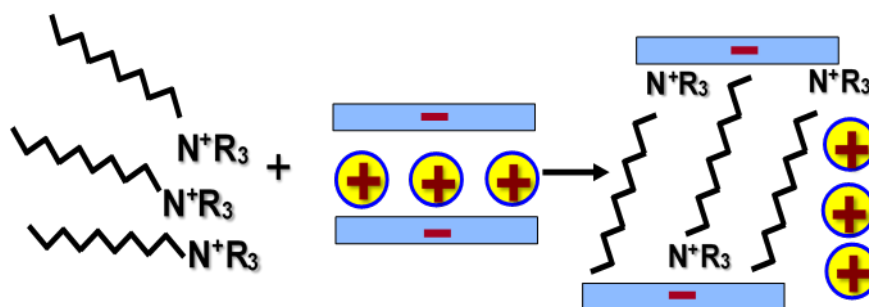


Рис. 2. Схема, що представляє процес катіонообмінної реакції між силікатом і алкіламонієвою сіллю

У результаті утворюється органічний/неорганічний матеріал, званий «інтеркалірованим гібридом», а метод отримання, заснований на цьому принципі, став відомий як іон-дипольний метод [9, 10].

Уперше в історії людства «інтеркалірований гібрид» на основі глини та сечовини було отримано під час виробництва ранньої китайської порцеляни [11].

Орієнтація органічних катіонів алкіламонію ($N+R_1$) у міжшаровому просторі різних шаруватих силікатів визначається силами, що діють на них з боку заряджених шарів і сусідніх катіонів [13/4]. Для уточнення характеру взаємодії адсорбованих органічних катіонів з поверхню шаруватих силікатів активно використовували ІЧ-спектроскопію. Наприклад, ІЧ-спектр дециламоній вермикуліту в ділянці $400\text{--}3400\text{ см}^{-1}$, окрім смуг, властивих чистому вермикуліту, які відповідають коливанням дециламонію, показав широку смугу поглинання валентних коливань NH_3 в ділянці $3000\text{--}3200\text{ см}^{-1}$, яка свідчить про утворення цієї групою водневих зв'язків з атомами кисню силікатної групи. ІЧ-дослідження, проведені для октіламонійвермикуліту, показали, що смуга деформації коливань групи $N+H_3$ виявляє залежність інтенсивності від кута падіння променів, спричинену тим, що зв'язок $N-C$ у ланцюзі катіона орієнтований перпендикулярно силікатним шарам. У зразку, в якому крім катіона були адсорбовані й нейтральні

молекули амінів, ця залежність не проявлялася, з чого випливає, що орієнтація молекул не була строго впорядкованою. Загалом розташування катіонів складної форми залежить від будови самого катіона [15].

Було проведено аналіз рентгенограм зразків вермикуліту з катіонами, що мають складну форму (зразки отримували заміною в групі $N+H_3$ атомів водню на об'ємні групи C_nH_{2n+1} , $CH_2CH=CCl-CH_3$); аналіз показав, що величина міжплощинної відстані не залежала ні від кількості, ні від довжини вуглеводневого ланцюга катіонів [15]. Унаслідок стеричних ускладнень сила електростатичної взаємодії органічного катіона з аніонною силікатною структурою зменшується. Тому енергетично вигіднішим для катіонів є плоске розташування на кисневмісній поверхні силікатного шару [15].

Отримані в такий спосіб модифіковані глини широко застосовують у барвниках, косметичці та мастильних матеріалах, що використовуються під час буріння свердловин.

Одне з найбільш ранніх систематичних досліджень взаємодії між алюмосилікатним шаруватим мінералом і макромолекулами належить до 1949 р., коли було описано поглинання ДНК монтморилонітом (ММТ) [16]. Останній утримувався в галереях аліфатичними ланцюгами, іммобілізованими на силікатній поверхні.

ОБГОВОРЕННЯ ОТРИМАНИХ РЕЗУЛЬТАТІВ

Вивчення сорбційної здатності в статичних умовах проводили з використанням модельних водних розчинів солей металів свинцю, молібдену, вольфраму з концентрацією 1 г/л. Завантаження сорбентів брали з розрахунку 100 мл модельного розчину на 0,5 г композиту. Як об'єкти досліджень було обрано композит складу монтморилоніт з метакрилатом гуанідину (ММТ/МАГ) 50:50. Дослідження проводили за кімнатної температури.

Вимірювання масової концентрації металів у пробах води до і після обробки композитами проводили рентгенофлуоресцентним аналізом на автоматизованому дифрактометрі ДРОН-6 у центрі колективного користування КБГУ «Рентгенівська діагностика матеріалів».

Вилучення іонів W(VI) і Mo(VI) з водного розчину композитами оцінювалося такими параметрами:

- концентрацією іонів у вихідному розчині та в очищеній водній фазі, мг/л;
- ступенем вилучення металу, %.

Для підтримання необхідного значення рН використовували соляну, азотну і сірчану кислоти та гідроксид натрію. Початкову концентрацію вольфраму і молібдену в розчинах створювали на рівні 50–60 мг/л.

З табл. 1 випливає, що уран досить швидко насичує сорбент, але практичного впливу на динаміку поглинання шуканих домішок надалі не чинить. Додаток солі алюмінію практично запобігає розчиненню основи сорбенту.

Після проведення необхідних розрахунків отримано, що динамічна ємність сорбенту «Термоксид-5» складала (мг елемента/г «Т5»): U – 34,4; Mo – 0,14; W – 4,0.

Не дивлячись на кращі показники щодо сорбції вольфраму і молібдену на сорбенті марки «Т-52», для подальших випробувань було обрано сорбент марки «Т-52». Як випливає з даних табл. 1, вміст титану в маточнику виявився більшим у випадку сорбенту «Т-52» за рахунок розчинення основи сорбенту. Сорбенти типу «Термоксид» стійкі до дії тільки сірчанокислого виду дії тільки сірчанокислотних середовищ із концентрацією до 3М; розчинення сорбентів зумовлене саме присутністю влено саме присутністю в розчині фторіону.

Більшою хімічною стійкістю до впливу агресивного сульфатного впливу агресивного сульфатнофторидного середовища має сорбент «Термоксид-5».

Внесення в перероблювані розчини додаткової кількості титану за рахунок нітальної кількості титану за рахунок розчинення сорбенту є неприпустимим внаслідок сорбенту неприпустимо внаслідок значного перевищення титану (до трьох порядків) в оборотних продуктах, одержуваних під час них продуктах, одержуваних під час переробки відходів.

Ступінь вилучення Mo з модельного розчину становив 65 %, вольфраму 70 %. Дослідження сорбційних характеристик сорбентів щодо іонів свинцю. Нині промисловість усього світу переживає черговий етап перетворень, пов'язаних із посиленням екологічних стандартів – відбувається загальна відмова від свинцю. Німеччина істотно обмежила його використання з 2000 р., Голландія – з 2002 р., а такі європейські країни, як Данія, Австрія та Швейцарія, взагалі заборонили використання свинцю. Ця тенденція стане спільною для всіх країн ЄС у 2015 р. США також активно розвивають технології, які допоможуть знайти альтернативу застосуванню свинцю. Більшість провідних корпорацій ставлять відмову від свинцю в списки першочергових завдань.

І все ж глобальний перехід на безсвинцеві технології – це завдання нехай не дуже далекого, але все ж таки майбутнього. Річ у тім, що небезпека свинцю для довкілля і здоров'я людини парадоксальним чином поєднується з його винятковою значущістю для сучасної промисловості.

Як зазначає Харченко С., Демчук Л., що завжди існує необхідність застосування дієвих методів очищення стічної води для різних галузей промисловості, а також впровадження нових методів для найефективнішого очищення промислових стоків [24, с. 104–106].

Таким чином, результати досліджень засвідчили, що вивчені полімерно-глинисті композити володіють високими сорбційними характеристиками по відношенню до досліджуваних іонів та становлять суттєвий практичний інтерес для використання в екологічних технологіях пов'язаних з регенерацією забруднених вододжерел.

Таблиця 1. Результати аналізів розчину після здійснення статичної сорбції

Сорбент	рН	Вміст компонента в розчині після сорбції, мг/л				Ступінь сорбції, %		
		U	Mo	W	Ti	U	Mo	W
Т-5	1	5000	0,52	0,92	26,0	0,0	89,6	90,8
	2	4760	0,56	1,06	9,0	4,8	88,8	89,4
	3	4760	1,50	1,22	1,5	4,8	70,0	87,8
	4	4420	1,28	2,62	1,5	11,6	74,4	73,8
Т-52	1	5000	0,34	2,34	48,0	0,0	93,2	76,6
	2	5000	0,12	1,12	12,0	0,0	97,6	88,8
	3	5000	0,56	1,04	3,0	0,0	88,8	89,6
	4	4340	1,86	3,68	2,0	13,2	62,8	63,2

Т-5 – Термоксид-5; Т-52 – Термоксид-52

ВИСНОВКИ

Уперше вивчено сорбційні характеристики композиційних матеріалів на основі монтморилоніту і метакрилату гуанідину. Показано, що композити на основі глинистих мінералів і поліелектролітів володіють високими сорбційними характеристиками щодо вивчених металів. Встановлено, що ступінь вилучення іонів вольфраму, молібдену і свинцю композитами досягає 50–70 % у слабкислому і нейтральному середовищі. Виявлено можливість використання нових полімерно-глинистих композитів для концентрування металів з розбавлених розчинів. Висновки до оцінки можливостей використання сорбентів при очищенні стічних вод можуть бути сформульовані на основі результатів проведених досліджень і аналізу різних аспектів:

1. Ефективність сорбції:

- Виявлено, що сорбенти демонструють значну ефективність у видаленні конкретних забруднюючих речовин зі стічних вод.

2. Відповідність стандартам:

- Результати досліджень свідчать про те, що використання сорбентів відповідає вимогам чинного законодавства та стандартам у сфері охорони навколишнього середовища.

3. Оптимальні умови сорбції:

- Встановлені оптимальні параметри сорбції, такі як час контакту, концентрація сорбента та

температура, що забезпечують максимальну ефективність очищення стічних вод.

4. Вартість і економічна ефективність:

- Аналіз вартості виробництва та впровадження технології показав, що використання сорбентів є економічно доцільним порівняно з іншими методами очищення стічних вод.

5. Вплив на довкілля:

- Виявлено, що використання сорбентів не призводить до негативного впливу на навколишнє середовище або відпрацьовані сорбенти можуть бути піддані безпечній утилізації.

6. Пілотні проекти:

- Проведені пілотні дослідження підтверджують можливість успішного впровадження технології очищення стічних вод з використанням сорбентів на реальних об'єктах.

7. Перспективи розвитку:

- Робота виявила перспективи для подальшого вдосконалення технології та розширення її застосування на інших об'єктах очищення стічних вод.

Ці висновки можуть служити підставою для прийняття рішень щодо впровадження технології очищення стічних вод з використанням сорбентів на практиці, а також для подальших досліджень і розвитку даного напрямку.

REFERENCES

- [1] Ashirov, A. (1983) Ionoobmine ochishennai vod, rozchiv i gaziv. [Ion exchange treatment of wastewater, solutions and gases]. Lviv : Ximia. 295 p.
- [2] Bakterii mozhyt dopomogatu ocdghatu stichni vodu vid ioniv vazhkux metaliv. [Bacteria can help purify wastewater from heavy metal ions]. URL: <http://manyava.org/publ/19-1-0-124> (data zvernennai : 21.11.2023)
- [3] Bolshanina, S.B. (2014). Ochyshchennia stichnykh vod halvanichnykh vyrobnystv sorbtsiinymy metodamy. [Ochyshchennia stichnykh vod halvanichnykh vyrobnystv sorbtsiinymy metodamy]. Ekolohichna bezpeka.
- [4] Byxareva, O.A. (2014). Doslidzhennai sorbziinix vlastuvostei materialy na osnovi polietulentereftalaty dlai ochuzhenai stichnux vod vid naftoproduktiv ta ioniv metaliv. [Study of the sorption properties of a polyethylene terephthalate-based material for wastewater treatment from oil products and heavy metal ions]. XXI stolitai : pidsymki munylogo I problmu sogodenai, №1 (17). P. 118-122.
- [5] Didkovskiy, A.A. (2014). Metody reheneratsii sorbentiv. [Methods of sorbents regeneration]. Suchasni naukumistki tekhnolohii. № 5-2. P. 101-102.
- [6] Dolyna, L. F. (2008) Suchasna tekhnika ta tekhnolohii dlia ochyshchennia stichnykh vod vid solei vazhkykh metaliv. [Modern equipment and technologies for wastewater treatment from heavy metal salts]. Monohrafiia Dn-vsk.: Kontynent. P. 254.
- [7] Karmazynenko, S.P., Kuraieva, I.V., Samchuk, A.I., Voitiuk, Yu.Iu., & Manichev, V.I. (2014). Vazhki metaly u komponentakh navkolyshnoho seredovyscha m. Mariupol (ekoloho-heokhimichni aspekty). [Karmazynenko S.P., Kuraieva I.V., Samchuk A.I., Voitiuk Yu.Iu., Manichev V.I. Vazhki metaly u komponentakh navkolyshnoho seredovyscha m. Mariupol (eco-heokhimicheskie aspekty)]. K.: Interservis. 168 p.
- [8] Mekhanizm intensyfikatsii protsesu sorbtsii ioniv vazhkykh metaliv modyfikovanyim mahnitokеровanyim biosorbentom dlia ochyshchennia stichnykh vod : zvit pro NDR (zakliuch.) NTUU «KPI». (2014). [Mechanism of intensification of the process of sorption of heavy metal ions by modified magnetically controlled biosorbent for wastewater treatment: Research report (final) NTUU «KPI»]. K. 181 p.
- [9] Mikrosfrychnyi sorbent dlia ochyshchennia ridyny vid radionuklidiv, ioniv kolorovykh i vazhkykh metaliv ta sposib yoho otrymannia : pat. №2214858; zaivl. 11.11.2002; opubl. 27.10.2003. [Microspherical sorbent for liquid purification from radionuclides, ions of non-ferrous and heavy metals and method of its production: pat. No. 2214858; decl. 11.11.2002; published 27.10.2003].
- [10] Rybak, O.S., Tsyhanenko-Dziubenko, I.Iu., & Patseva, I.H. (2023) Promyslove ochyshchennia stichnykh vod bolotnymy roslynamy na dakhu. [Industrial wastewater treatment by marsh plants on the roof]. Tavriyskyi naukovyi visnyk. seriia Ahronomiia. Pidseksiia: Ekolohiia, ikhtiologiia ta akvakultura. V.132. P.378-387.

- [11] Tsyhanenko-Dziubenko, I.Iu., Handziura, V.P., Demchuk, L.I., Alpatova, O.M., & Vovk, V.M. (2023). Hidroekologichni aspekty aktivnoho mulu ochysnykh sporud m. Zhytomyra. [Hydroecological aspects of activated sludge of sewage treatment plants in Zhytomyr]. *Moderní aspekty vědy: XXVIII. Díl mezinárodní kolektivní monografie. Mezinárodní Ekonomický Institut s.r.o.. Česká republika: Mezinárodní Ekonomický Institut s.r.o.* P. 440–461.
- [12] Azizian, S. Adsorption of methyl violet onto granular activated carbon : Equilibrium, kinetics and modeling. *Chemical Engineering*, 2009. V. 146. P. 36–41.
- [13] Woolard, C. D. Evaluation of the use of modified coal ash as a potential sorbent for organic waste streams. *Applied Geochemistry*, 2002. V. 17. № 8. P. 1159–1164.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- [1] Аширов А. (1983) Іонообмінна очищення стічних вод, розчинів і газів. Львів : Хімія. 295 с.
- [2] Бактерії можуть допомогти очищати стічні води від іонів важких металів. URL: <http://manyava.org/publ/19-1-0-124> (дата звернення: 21.01.2024)
- [3] Большаніна С.Б. (2014) Очищення стічних вод гальванічних виробництв сорбційними методами. *Екологічна безпека*. 2014. № 1. С. 114–118.
- [4] Бухарева О. А. (2014) Дослідження сорбційних властивостей матеріалу на основі поліетилентерефталату для очищення стічних вод від нафтопродуктів та іонів важких металів. *XXI століття : підсумки минулого і проблеми сьогодення*, № 1(17). С. 118–122.
- [5] Дідковський А.А. Методи регенерації сорбентів. *Сучасні наукові технології*. 2014. № 5-2. С. 101–102.
- [6] Долина Л. Ф. Сучасна техніка та технології для очищення стічних вод від солей важких металів. *Монографія Дн-вск.: Континент*. 2008. С. 254.
- [7] Кармазиненко С.П., Кураєва І.В., Самчук А.І., Войтюк Ю.Ю., Манічев В.Й. Важкі метали у компонентах навколишнього середовища м. Маріуполь (еколого-геохімічні аспекти). К.: Інтерсервіс. 2014. 168 с.
- [8] Механізм інтенсифікації процесу сорбції іонів важких металів модифікованим магнітокеруваним біосорбентом для очищення стічних вод : звіт про НДР (заключ.) НТУУ «КПІ» ; кер. роб. С. Горобець. – К., 2014. – 181 л.
- [9] Мікросфричний сорбент для очищення рідини від радіонуклідів, іонів кольорових і важких металів та спосіб його отримання : пат. №2214858; заявл. 11.11.2002; опубл. 27.10.2003.
- [10] Рибак О.С., Циганенко-Дзюбенко І.Ю., Пацева І.Г. (2023) Промислове очищення стічних вод болотними рослинами на даху. *Таврійський науковий вісник. серія Агрономія. Підсекція: Екологія, іхтіологія та аквакультура*. В.132. С.378–387.
- [11] Циганенко-Дзюбенко І.Ю., Гандзюра В.П., Демчук Л.І., Алпатова О.М., Вовк В.М. Гідроekологічні аспекти активного мулу очисних споруд м. Житомира. *Moderní aspekty vědy: XXVIII. Díl mezinárodní kolektivní monografie /Mezinárodní Ekonomický Institut s.r.o.. Česká republika: Mezinárodní Ekonomický Institut s.r.o., 2023. str. 607. С. 440–461.*
- [12] Azizian S. Adsorption of methyl violet onto granular activated carbon : Equilibrium, kinetics and modeling. *Chemical Engineering*, 2009. V. 146. P. 36–41.
- [13] Woolard, C. D. Evaluation of the use of modified coal ash as a potential sorbent for organic waste streams. *Applied Geochemistry*, 2002. V. 17. № 8. P. 1159–1164.

© Демчук Л. І., Нонік Л. Ю., Войналович І. М., Скиба Г. В.
Дата надходження статті до редакції: 15.02.2024
Дата затвердження статті до друку: 24.02.2024