

АНТОНЕНКО Л. П., к.х.н., доц.<sup>1</sup>; ЗАДНІПРЯНЕЦЬ Ю. М., магістр<sup>1</sup>; ДЗЮБАК О. М., інж.<sup>2</sup>,  
БАБИЧ А. Ю., спеціаліст<sup>1</sup>, ТРУБІЙЧУК Р. П., магістр<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»

<sup>2</sup> Випробувальна лабораторія продукції нафтохімічної промисловості ДП «МАСМА-СЕПРО»

## ВПЛИВ РЕКОНСТРУКЦІЇ НАНОПОРОШКІВ АЛМАЗУ НА ОЧИЩЕННЯ ВОДИ ВІД ІОНІВ $\text{Cu}^{2+}$

Досліджено адсорбційні властивості нанопорошку алмазу детонаційного синтезу АСУД 99р за статичних умов. Наведено порівняльну характеристику нанопорошків алмазу АСУД 99р і АСУД 99. Оброблено криві адсорбції, розраховано константи швидкості.

**Ключові слова:** адсорбція, нанопорошки алмазу, іони важких металів.

© Антоненко Л. П., Задніпрянець Ю. М., Дзюбак О. М., Бабич А. Ю., Трубійчук Р. П., 2014.

**Постановка проблеми та аналіз попередніх досліджень.** Важкі метали, що потрапляють у навколишнє середовище внаслідок перероблення металів, виготовлення металоконструкцій, виробництва фарб і добрив, спалювання палива, вивезення сміття, є стійкими хімічними забрудниками з токсичними властивостями [1]. Потрапляючи у водне середовище, вони утворюють гідратовані йони, оксигідрати, іонні пари, комплексні неорганічні та органічні сполуки. Очищення атмосфери, водойм і ґрунтів від них є актуальною інженерною задачею.

Поширеною технологією видалення важких металів із водних середовищ є фільтрування. Вибір фільтрувальних матеріалів є надзвичайно широким: від тканин і фільтрувального паперу до екзотичних матеріалів, наприклад, подрібненої шкаралупи волоського горіха чи іспанського моху. Для більшості процесів розроблені спеціальні фільтрувальні матеріали [2], однак іноді, коли дисперсні системи важко розділити, їх варто поєднувати.

Адсорбційний метод є добре керованим процесом, він дозволяє видаляти забруднення з водного середовища незалежно від їхньої хімічної стійкості. Тому перспективним є розвиток фільтрувально-сорбувальних пристроїв, призначених для локального доочищення питної води.

Одним з ефективних сорбентів іонів важких металів є нанопорошки алмазу детонаційного синтезу. Їхні поверхневі властивості формують спеціальною реконструкцією – термохімічним, хімічним чи електрохімічним обробленням, що зменшує вміст кисневмісних груп на поверхні частинок нанопорошків.

**Метою статті** є порівняння різних нанопорошків алмазу детонаційного синтезу та розроблення практичних рекомендацій зі створення фільтрувального матеріалу для очищення води від іонів важких металів.

**Виклад основного матеріалу.** Для дослідження використовували реконструйований нанопорошок алмазу детонаційного синтезу марки АСУД 99р і порівнювали його адсорбційну здатність із нанопорошком марки АСУД 99, який досліджували раніше [3].

Суспензію адсорбенту змішували з розчином  $\text{CuSO}_4$  із таким розрахунком, щоб концентрація йонів міді в суміші становила  $200 \text{ мг/дм}^3$ , а вміст адсорбенту –  $5 \text{ мг/дм}^3$ . Дослідження здійснювали за постійного перемішування. Проби відбирали через певні фіксовані проміжки часу, сорбент відокремлювали від розчину за допомогою лабораторної центрифуги, після чого визначали залишковий вміст іонів міді (II) в розчині фотометричним методом [4].

У разі використання нанопорошку АСУД 99 протягом перших 10 хв концентрація йонів міді в розчині зменшилася на 23 % і через 25 хв досягла рівноважної (рис. 1). У разі ж використання нанопорошку АСУД 99р концентрація йонів міді протягом перших 5 хв зменшилася на 51 %, а рівноважної концентрації було досягнуто через 15 хв. Таким чином, нанопорошок АСУД 99р, завдяки більшій питомій площі поверхні внаслідок збільшення пористості вуглецю  $\text{sp}^2$ -гібридизації, має кращі адсорбційні властивості.

Для математичного оброблення кінетичної кривої сорбції використовували кінетичні моделі псевдо-першого (Лагєнгрена) та псевдо-другого порядків:

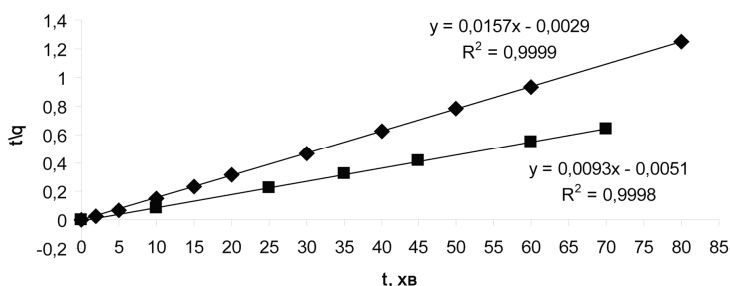


Рис. 1 – Зміна концентрації йонів міді (II) від тривалості

контакту з нанопорошками АСУД 99 (■) та АСУД 99р (◆)

$$\ln(q_{\max} - q_t) = \ln q_{\max} - k_1 t;$$

$$t/q_t = 1/(k_2 q_{\max}^2) + t/q_{\max}^2,$$

де  $q_t$  – кількість іонів міді, адсорбованих у момент часу  $t$ , мг/г;  $q_{\max}$  – максимальна адсорбція йонів, мг/г;  $k_1$  – константа Лагергрена швидкості реакції псевдо-першого порядку, хв<sup>-1</sup>;  $k_2$  – константа швидкості реакції псевдо-другого порядку, г/(мг · хв);  $t$  – тривалість адсорбції, хв.

Після відповідних розрахунків (табл. 1) отримані параметри кінетичної моделі псевдо-першого порядку.

**Таблиця 1 – Розрахункові дані моделі псевдо-першого порядку для АСУД 99р та АСУД 99**

Час, хв	C(Cu <sup>2+</sup> ), мг/дм <sup>3</sup>		q, мг/г		ln(q <sub>max</sub> - q)	
	АСУД 99р	АСУД 99	АСУД 99р	АСУД 99	АСУД 99р	АСУД 99
0	162,5	192	7,5	1,6	3,025291	3,28
2	80,0	–	24,0	–	1,410987	–
5	71,0	–	25,8	–	0,832909	–
10	66,0	121,6	26,8	15,68	0,262364	2,52
15	64,0	–	27,2	–	-0,10536	–
20	63,0	–	27,4	–	-0,35667	–
25	–	112,0	–	17,6	–	2,35
30	64,0	–	27,2	–	-0,10536	–
35	–	108,8	–	18,24	–	2,29
40	64,0	–	27,2	–	-0,10536	–
45	–	108,8	–	18,24	–	2,29
50	64,0	–	27,2	–	-0,10536	–
60	64,0	108,8	27,2	18,24	-0,10536	2,29
70	–	108,8	27,2	–	-0,10536	–
80	64,0	–	27,2	–	-0,10536	–

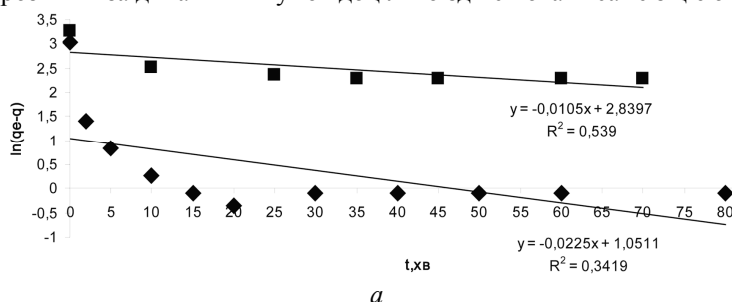
Константу швидкості псевдо-першого порядку, що характеризує енергію взаємодії чи спорідненості йонів металу до адсорбенту, отримано з графічної залежності, побудованої у координатах ln(q<sub>max</sub> - q<sub>t</sub>) - t (рис. 2, а). Щоб отримати коефіцієнти кінетичної моделі псевдо-другого порядку, побудовані графічні залежності у координатах t/q - t (рис. 2, б). Після відповідних розрахунків отримані параметри обох кінетичних моделей (табл. 2).

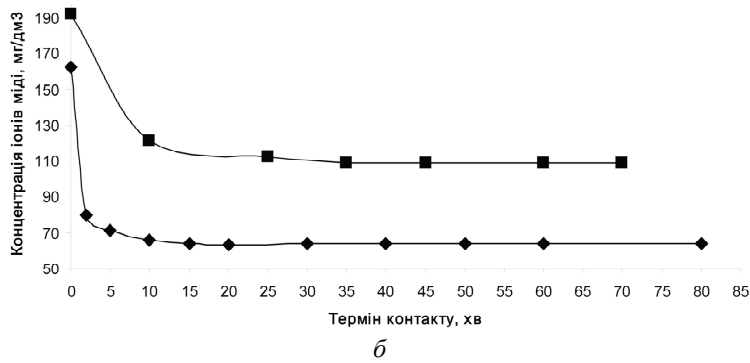
**Таблиця 2 – Кінетичні характеристики адсорбції йонів міді (II) нанопорошками алмазу**

Адсорбент	Параметри сорбції для кінетичної моделі						
	псевдо-першого порядку			псевдо-другого порядку			
	k <sub>1</sub> , хв <sup>-1</sup>	q <sub>max</sub> , мг/г	R <sup>2</sup>	k <sub>2</sub> , г/(мг·хв)	q <sub>max</sub> , мг/г	h, мг/(г · хв)	R <sup>2</sup>
АСУД 99	-0,0105	18,24	0,539	0,0704	18,24	20,16	0,9985
АСУД 99р	-0,0225	27,40	0,342	0,00638	27,40	28,74	0,9990

Установлено, що коефіцієнт кореляції R<sup>2</sup> для моделі псевдо-першого порядку для нанопорошків АСУД 99 і АСУД 99р дорівнює 0,539 і 0,342 відповідно, тоді як для моделі псевдо-другого порядку в обох випадках R<sup>2</sup> ≥ 0,998. Тобто, модель псевдо-другого порядку адекватніше описує кінетику сорбції йонів міді з розчину солі CuSO<sub>4</sub> нанопорошками алмазу марок АСУД 99 та АСУД 99р.

**Висновки.** Установлено, що нанопорошки алмазу марок АСУД 99 та АСУД 99р ефективно видаляють іони міді з водних розчинів за статичних умов. Видалення йонів міді відбувається швидше у разі використання нанопорошку АСУД 99р, тому подальші дослідження сорбування важких металів із водних розчинів за динамічних умов доцільно здійснювати саме з цією маркою нанопорошку.





**Рис. 2 – Кінетичні моделі псевдо-першого (а) і псевдо-другого (б) порядку для адсорбції іонів міді (II) нанопорошками АСУД 99 (■) та АСУД 99р (◆)**

Вісник НТУУ «КП». – 2010. – № 2. – С. 60-63.

2. *Сравнительный анализ отечественных и зарубежных фильтроматериалов* / А. И. Вегера, А. И. Елышин, В. К. Волков, О. Н. Жаркова // Вести ПГУ ; Прикладные науки. – 2000. – С. 69–74.
3. *Очищення води від іонів міді нанопорошками алмазу* / Л. П. Антоненко, Н. В. Чучуліна, О. П. Хохотва и др. // Вісник НТУУ «КП». – 2011. – № 1 (7). – С. 80–83.

*Лурье Ю. Ю.* Аналитическая химия промышленных сточных вод / Ю. Ю. Лурье. – М. : Химия, 1984. – 448 с.

Оскільки нанопорошок алмазу є дрібнодисперсним матеріалом, він може досить швидко вимиватися разом із розчином під час фільтрування. Тому для дослідження сорбування міді за динамічних умов буде виготовлено листовий матеріал із композиції целюлозних, каолінових і лавсанових волокон.

#### Список використаної літератури

1. *Купчик Л. А.* Особливості сорбції іонів важких металів із сольових розчинів лігноцелюлозними сорбентами / Л. А. Купчик, А. А. Ніколайчук, Н. Ю. Боровіцький //