

Хімічні науки

УДК 622.765

**Яцентюк Іванна Валентинівна**

магістр

Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут ім. І.Сікорського»

**Толстопалова Наталія Михайлівна**

к.т.н., доцент, в.о. зав. кафедри технології неорганічних  
речовин та загальної хімічної технології

Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

**Обушенко Тетяна Іванівна**

старший викладач кафедри технології неорганічних  
речовин та загальної хімічної технології

Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

**Куриленко Віктор Сергійович**

студент

Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут ім. І.Сікорського»

**Яцентюк Іванна Валентиновна**

магістр

Национальный технический университет Украины  
«Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского»

**Толстопалова Наталия Михайловна**

к. т. н., доцент, и.о. зав. кафедры технологи неорганических  
веществ и общей химической технологии

Национальный технический университет Украины  
«Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского»

**Обушенко Татьяна Ивановна**

старший преподаватель кафедры технологии неорганических  
веществ и общей химической технологии

Национальный технический университет Украины  
«Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского»

**Куриленко Виктор Сергеевич**

студент

Национальный технический университет Украины «Киевский  
политехнический институт имени Игоря Сикорского»

**Yatsentiuk Ivanna**

Graduate student

National Technical university of Ukraine  
«Igor Sikorsky Kiyv Politechnical Institute»

**Tolstopalova Nataliya**

Candidate of technical science, associate professor  
Department inorganic compounds technology and  
general chemical technology

National Technical university of Ukraine  
«Igor Sikorsky Kiyv Politechnical Institute»

**Obushenko Tetiana**

Senior lecturer

Department inorganic compounds technology and  
general chemical technology

National Technical university of Ukraine  
«Igor Sikorsky Kiyv Politechnical Institute»

**Kurilenko Viktor**

student

National Technical university of Ukraine  
«Igor Sikorsky Kiyv Politechnical Institute»

**ВИДАЛЕННЯ СПОЛУК АРСЕНУ (V) ІЗ ВОДИ ЗА ДОПОМОГОЮ  
ФІЗИКО-ХІМІЧНИХ МЕТОДІВ  
УДАЛЕНИЕ СОЕДИНЕНИЙ МЫШЬЯКА (V) ИЗ ВОДЫ ФИЗИКО-  
ХИМИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ  
REMOVAL OF ARSENIC COMPOUNDS (V) WITH WATER USING  
PHYSICOCHEMICAL METHODS**

**Анотація:** Отримано експериментальні дані про ступінь вилучення сполук арсену (V) з імітатів води з вихідною концентрацією 500 мкг/дм<sup>3</sup>. Розглянуто коагуляційний та сорбційний методи вилучення сполук арсену (V). Запропоновано комбінований метод очищення, який на першій стадії буде включати коагуляцію, а на заключній – сорбцію.

**Ключові слова:** вода, коагуляція, сорбція, активоване вугілля.

**Аннотация:** Получены экспериментальные данные о степени извлечения соединений мышьяка (V) из имитатов воды с исходной концентрацией 500 мкг/дм<sup>3</sup>. Рассмотрены коагуляционный и сорбционный методы извлечения соединений мышьяка (V). Предложен комбинированный метод очистки, включающий на первой стадии коагуляцию, а на заключительной – сорбцию.

**Ключевые слова:** вода, коагуляция, сорбция, активированный уголь.

**Summary:** Experimental data on the removal of arsenic compounds (V) with water sample with a starting concentration of 500 mg / dm<sup>3</sup>. Considered coagulation and sorption methods of removal of arsenic compounds (V). A combined method of treatment, which in the first stage will include coagulation, and the final - sorption.

**Key words:** water, coagulation, sorption, activated carbon.

Головною складовою безпеки та здоров'я населення є якісне водопостачання питної води. Останнім часом стан джерел постачання питної води України значно погіршився за рахунок появи не типових

забрудників у природних як у поверхневих, так і в підземних джерелах, а також внаслідок недостатнього ступеня очищення промислових і побутових стічних вод.

Серед нетипових забрудників природних поверхневих і підземних вод важливе місце займають сполуки арсену.

Довготривале надходження сполук арсену з питною водою може призвести до раку крові, легень, шкіри, носових пазух, печінки тощо. До не канцерогенних ефектів можна віднести імунологічні, неврологічні та ендокринні розлади, а також генотоксичну дію.

Проблема наявності сполук арсену у джерелах питного водопостачання набула світового резонансу у 1995 році після оприлюднення ВОЗ результатів досліджень, проведених в Індії та Бангладеш з приводу високої смертності працездатного населення. Реакцією стало встановлення у більшості країн світу ГДК арсену у питній воді на рівні 10 мкг/дм<sup>3</sup>. На жаль, більшість існуючих технологій водопідготовки не дозволяють забезпечити додержання цього нормативу [1].

Оскільки деякі наслідки впливу арсену на організм незворотні, основною медико-санітарною мірою охорони здоров'я є попередження появи його домішок у питній воді. З цією метою ВООЗ, а слідом за нею і регулюючі органи більшості країн, знизили гранично допустиму концентрацію арсену у питній воді з 50 до 10 мкг/дм<sup>3</sup>. Межа 10 мкг/дм<sup>3</sup> встановлена і діючими в Україні вимогами до якості питної води.

Токсичність та рухливість сполук арсену залежить від його ступеня окиснення (сполуки As (III) є більш токсичним за сполуки As (V)), але поведінка сполук арсену значно залежить від біологічного стану природних вод. Середня напівлетальна доза (LD50) арсеновмісних речовин становить від 0,014 до 0,185 г/кг [1]. Хронічний арсенікоз починає розвиватися при дозах в 1000 разів нижче напівлетальної. Проблема наявності сполук арсену у воді є актуальною і в Україні, а саме в 70% проаналізованих проб природних вод було зафіксовано вміст арсену

вищий за  $10 \text{ мг/дм}^3$  [2]. В 17 пробах підземних вод концентрація арсену знаходиться в межах  $20\text{-}83 \text{ мкг/дм}^3$ , в 19 пробах ґрунтових вод –  $20\text{-}100 \text{ мкг/дм}^3$  і в 5 пробах поверхневих вод –  $10\text{-}85 \text{ мкг/дм}^3$  [3].

Очищення води від домішок арсену переважно здійснюється за допомогою різноманітних способів, більшість з яких не дозволяють досягти сучасних вимог щодо залишкового вмісту арсену, а також виявляються не економічними та екологічно несприятливими.

Найбільш поширеними методами вилучення сполук As (III) і As (V) з природних та стічних вод є: коагуляція, обробка лужними реагентами, адсорбція, іонний обмін, ультрафільтрація, електрокоагуляція, комбіновані методи.

**Коагуляція.** Цей метод є одним з найчастіше використовуваних для видалення сполук арсену з природних вод. Метод полягає в сорбції сполук арсену на пластівцях, що утворилися в результаті коагуляції. Основними недоліками коагуляційного очищення є: необхідність постійного дозування хімічних реагентів, матеріаломісткість обладнання, проблема утилізації утвореного шламу.

**Обробка лужними реагентами.** Як відомо, вапняне пом'якшення видаляє з води сполуки, що спричиняють твердість води, переводячи їх у осад, але сполуки арсену теж можуть бути видалені цим методом. Хоча для ефективнішого видалення арсену необхідне дозування окисника. Метод доцільно використовувати тільки у випадку необхідності пом'якшення води. Основні недоліки ті ж, що і для коагуляційного очищення.

**Адсорбція.** Сьогодні все більшого поширення знаходить очищення води від арсену із застосуванням вже відпрацьованих матеріалів, що істотно знижує витрати на очищення води. Але ніхто не виключає можливість використання методу очищення води адсорбцією для отримання чистої води. Цей метод очищення води від арсену передбачає використання відпрацьованого вугілля або золи, на поверхню якого наноситься гідроксид заліза. При пропусканні води через шар попелу очищення води від арсену

відбувається наступний чином: гідроксид заліза (II) вступає в реакцію з арсеном, повністю його видаляючи. Це фактично нагадує механічне очищення води. Для адсорбції сполук арсену можна використовувати різноманітні сорбенти. Ефективність сорбції залежить від типу сорбенту, температури, рН води тощо. Активоване вугілля є одним з найчастіше використовуваних сорбентів для видалення сполук арсену з води. До основних недоліків методу можна віднести необхідність регенерації сорбентів та проблему утилізації промивочних та регенераційних розчинів [4,6-8].

**Іонний обмін.** Цей метод застосовується для вилучення сполук арсену з промислових та стічних вод. Метод дозволяє рекуперувати цінні речовини при високому ступені очищення. До основних недоліків методу можна віднести необхідність регенерації іонітів, а також проблему утилізації промивочних вод та регенераційних розчинів [5].

**Мембранні процеси.** Використання мембранних процесів для видалення сполук арсену з природних вод є економічно вигіднішим, ніж реагентні методи очищення, але у випадку високого вмісту сполук As(III) у воді ефективність значно зменшується, оскільки за допомогою мембранних процесів вода значно краще очищується від сполук As (V), ніж As (III) [9]. До недоліків зворотньоосмотичного очищення відносять корозійність та низьку буферну ємність води після очистки, що є результатом високої чистоти очищеної води. Іншим недоліком зворотнього осмосу є високі об'єми концентрату, який в подальшому слід утилізувати.

**Комбіновані методи.** На сьогодні все більшої популярності набувають комбіновані методи очищення або, як їх ще називають, «гібридні». Ці методи дозволяють поєднати переваги різних способів очищення з взаємним зниженням їх недоліків [10].

## Мета досліджень

Метою досліджень є виявлення можливості використання методів, що дозволять з високою ефективністю вилучати сполуки As (V) з імітацій природних та стічних вод.

Для дослідження обрано два методи: коагуляційний та сорбційний, так як ці методи є більш розповсюдженими.

У серії досліджень використовували змітати води, які містили 500 мкг/дм<sup>3</sup> As(V). Для порівняння коагуляційної дії досліджено традиційний реагент Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub> з концентрацією 25 г/дм<sup>3</sup> та коагулянт на основі сполук заліза Ferroclean 8115 – сполуки Al<sup>3+</sup>, Fe<sup>3+</sup> та полі спирти в якості флокулянтів. Час коагуляції – 90 хв. Утворюються арсенат феруму (III), який значно менш розчинний, ніж арсенат алюмінію (-lg ДР(AlAsO<sub>4</sub>) = 15,80; -lg ДР(FeAsO<sub>4</sub>) = 20,24). Після завершення коагуляції залишковий вміст As(V) у пробах води визначали фотометричним методом при довжині хвилі 750 нм.

Залежність ступеня видалення (X,%) сполук As(V) від дози коагулянтів наведено на рисунках 1 та 2.

Коагуляційне видалення As (V) з розчинів за допомогою Ferroclean 8115 та Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub> наведено на рисунках 1 та 2.

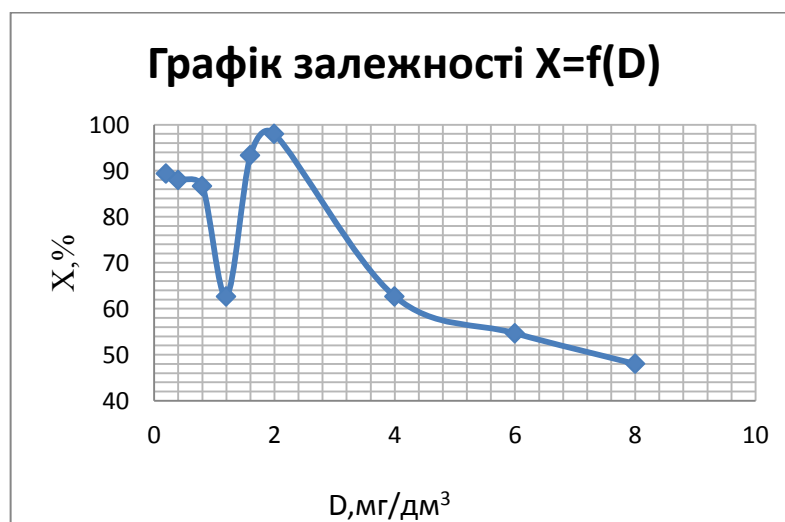


Рис. 1. Коагуляційне видалення As (V) з розчинів за допомогою Ferroclean 8115

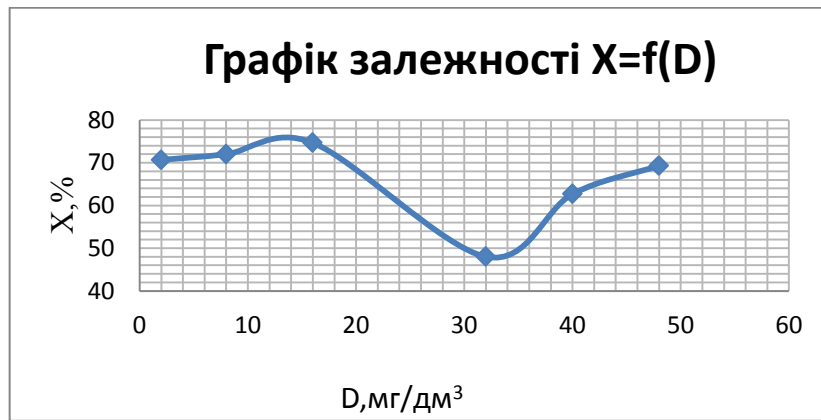


Рис. 2. Коагуляційне видалення As (V) з розчинів за допомогою  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$

Аналіз отриманих результатів свідчить, що майже 100-відсотковий ступінь видалення As(V) досягається за дози коагулянта Ferroclean 8115 2 мг/дм<sup>3</sup>, тоді як застосування сульфату алюмінію призводить до ступеня вилучення 76% за дози коагулянта 14 мг/дм<sup>3</sup>. Тобто за значно менших доз коагулянта Ferroclean 8115 у порівнянні з  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$  досягається більший ступінь видалення із води As(V).

Для сорбційного вилучення As(V). З вихідною концентрацією 500 мкг/дм<sup>3</sup> було залучено два зразки активованого вугілля- БАУ/А та КАУ.

Результати впливу часу сорбції на ступінь вилучення As(V). Представлено на рисунках 3 та 4.

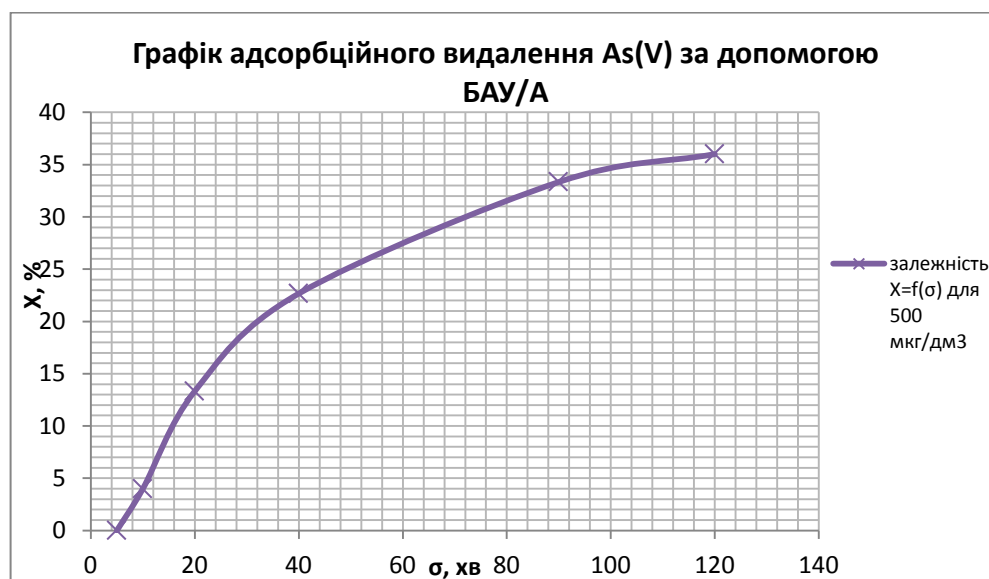


Рис. 3. Залежність ступеня видалення As (V) із розчинів у часі за допомогою БАУ/А



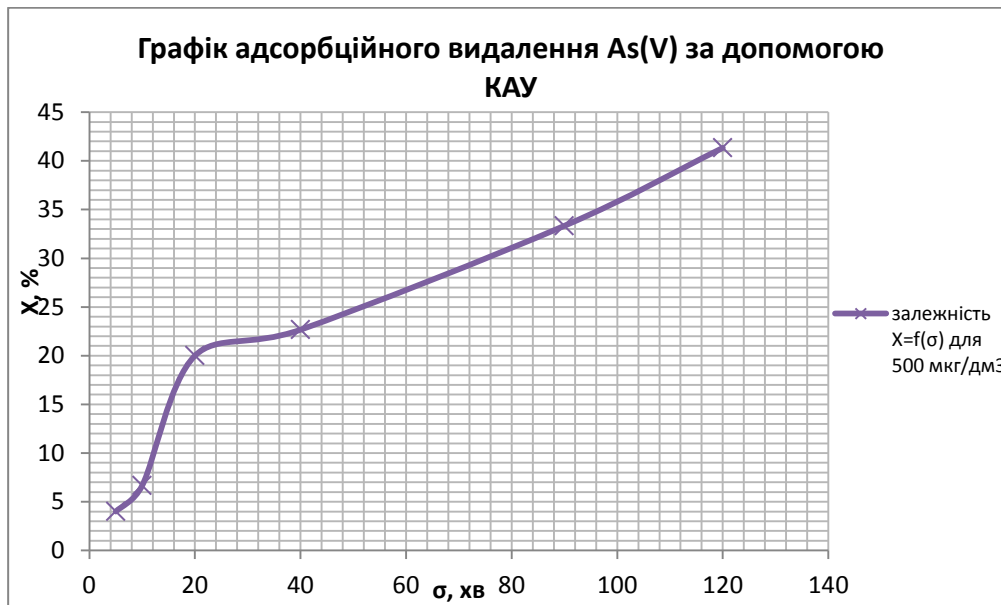


Рис. 4. Залежність ступеня видалення As (V) із розчинів у часі за КАУ

Графічні залежності свідчать, що за 60 хв. сорбції ступінь видалення As(V) на обох зразках сорбентів майже однаковий – 28% (БАУ/А) та 26% (КАУ). Збільшення часу сорбції до 120 хв. Призводить до збільшення ступеня вилучення сполук As(V) до 36 та 41% відповідно ( доза сорбентів у всіх дослідженнях однакова).

Деяке збільшення ступеня вилучення As(V) пояснюється більш високими характеристиками вугілля марки КАУ у порівнянні з БАУ/А ( наприклад, величина питомої поглинаючої поверхні відповідно – 1000 та 800 м<sup>2</sup>/г).

В подальшій серії експериментальних досліджень планується виявити можливість збільшення ступеня вилучення As(V) із імітатів води з різною вихідною концентрацією за допомогою комбінованого методу, який на першій стадії буде включати коагуляцію, а на заключній – сорбцію.

### Література:

1. Oregon Department of Human Services. Health effects information. Arsenic. Oregon : Office of Environmenta Public Health, 2002.

2. Наукові засади видалення токсичних мікрокомпонентів мангану, бору, арсену в процесах мембранного опріснення» [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://iccwc.kiev.ua/diser/melnik-maxin.pdf>
3. Maletskyi Z., Kolomiets Y., Golub I. Arsenic monitoring in natural waters. roceedings of The International Conference of young scientists on Chemistry and Chemical Technology, Dnepropetrovsk, DNCTU, 2011
4. ООО «Альтера Кемикал» [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://kiev.prom.ua/p229804143-aktivirovannyj-ugol-bau;all.html>
5. ЧП Нестеренко [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://nesterenko.zakupka.com/p/46331134-aktivirovannuu-ugol-kau-dlya-ochistke-samogona/>
6. Сравнительная оценка сорбционных свойств промышленных и экспериментальных гибридных материалов по отношению к примесям As(III) и As(V) в воде / [З. Малецкий, Т. Митченко, Н. Макарова и др.]. // Вода і водоочисні технології. Науково-технічні вісті. – 2012. – С. 21–30.
7. Популярная библиотека химических элементов [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [http://chemistry-chemists.com/N3\\_2012/U3/As.html](http://chemistry-chemists.com/N3_2012/U3/As.html)
8. Аквафор Трейдинг. Очистка воды от мышьяка [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [http://www.a-filter.ru/ochistka\\_vody\\_ot\\_myshjaka](http://www.a-filter.ru/ochistka_vody_ot_myshjaka)
9. Наукові засади видалення токсичних мікрокомпонентів мангану, бору, арсену в процесах мембранного опріснення» [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://iccwc.kiev.ua/diser/melnik-maxin.pdf>
10. Litynska M, Tolstopalova N, Astrelin I. Neutralization of arsenic pollutants, contained in natural waters: the theoretical analysis of some arsenates and optimization of the processes. J. Water Environ. Nanotechnol., 2017.