



**V Міжнародна науково-практична  
конференція**

**«ПЕРСПЕКТИВИ МАЙБУТНЬОГО ТА  
РЕАЛІЇ СЬОГОДЕННЯ В ТЕХНОЛОГІЯХ  
ВОДОПІДГОТОВКИ»**

*Київ НУХТ 2024*

*МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ*

*НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ*

**V МІЖНАРОДНА  
НАУКОВО-ПРАКТИЧНА КОНФЕРЕНЦІЯ**

**ПЕРСПЕКТИВИ МАЙБУТНЬОГО  
ТА РЕАЛІЇ СЬОГОДЕННЯ  
В ТЕХНОЛОГІЯХ ВОДОПІДГОТОВКИ**

**14 – 15 листопада 2024 р.**

**Київ НУХТ 2024**

**ISBN ISBN 978-966-612-345-2**

**Перспективи майбутнього та реалії сьогодення в технологіях водопідготовки:**  
Матеріали V Міжнародної науково-практичної конференції, м. Київ, 14 – 15 листопада  
2024 р. — К.: НУХТ, 2024. — 173 с.

Future prospects and present realities in water treatment technologies: Materials of the 5th International Scientific and Practical Conference. Kyiv, November 14-15, 2024. — К.: NUFT, 2024. — 173 p.

Подано сучасні підходи до вирішення питань технології підготовки питної води. Означено актуальні питання впливу фізико-хімічних властивостей води на процеси водопідготовки, інноваційні підходи до вирішення проблем якості та безпечності питної води, підвищення ефективності процесів її підготовки. Розглянуто аспекти водопідготовки у харчових виробництвах.

Presented are modern approaches to solving drinking water treatment technology issues. Current issues of the influence of physical and chemical properties of water on water treatment processes, innovative approaches to solving problems of drinking water quality and safety, and increasing the efficiency of water preparation processes are identified. Aspects of water treatment in food production are considered.

*Редакційна колегія: к.т.н., доц. С.В. Токарчук, д.т.н., проф. Н.А. Гусятинська, к.т.н., доц. Карнович І.В., д.х.н., с.н.с. Л.О. Мельник, к.т.н. Н.М. Чернова (відповідальний секретар)*

*Рекомендовано Вченою радою НУХТ Протокол № 3 від 31 жовтня 2024 р.  
Матеріали конференції видано в авторській редакції*

**ISBN ISBN 978-966-612-345-2**

**©НУХТ, 2024**

## ***Організаційний комітет конференції:***

### **Голови оргкомітету**

**Шевченко О.Ю.** – ректор Національного університету харчових технологій, д.т.н., професор.

**Гончарук В.В.** – директор Інституту колоїдної хімії та хімії води ім. А.В. Думанського НАН України, академік НАН України, д.х.н., професор.

### **Заступники голови**

**Токарчук С.В.** – проректор з наукової роботи НУХТ, к.т.н., доц.

**Мельник Л.О.** – заступник директора з наукової роботи, старш. наук. співроб. Інституту колоїдної хімії та хімії води ім. А.В.Думанського, д.х.н., старш. наук. співроб.

**Бамбура О.Ф.** – виконавчий директор Асоціації виробників мінеральних та питних вод України.

**Гусятинська Н.А.** – завідувач кафедри технології цукру і підготовки води, д.т.н., професор.

**Карпович І.В.** – в.о. завідувача кафедри технології цукру і підготовки води, к.т.н., доц.

### **Секретарі конференції**

**Чернова Н.М.** – доцент кафедри технології цукру і підготовки води НУХТ, к.т.н.

**Губецька Т.С.** – молодший науковий співробітник Інституту колоїдної хімії та хімії води ім. А.В. Думанського НАН України, доктор філософії.

### **Члени технічного комітету**

**Кочубей-Литвиненко О.В.** – директор Навчально-наукового інституту харчових технологій НУХТ, д.т.н.

**Мілюкін М.В.** – заступник директора з наукової роботи Інституту колоїдної хімії та хімії води ім. А.В. Думанського НАН України, д.х.н., старш. наук. співроб.

**Зуй О.В.** – старш. наук. співроб. Інституту колоїдної хімії та хімії води ім. А.В. Думанського НАН України, д.х.н., старш. наук. співроб.

## **Вітаю учасників конференції, колег та гостей!**

Сьогодні розпочинає роботу V Міжнародна науково-практична конференція «Перспективи майбутнього та реалії сьогодення в технологіях водопідготовки» на базі Національного університету харчових технологій та спільно з Інститутом колоїдної хімії та хімії води ім. А.В. Думанського Національної академії наук України та Асоціацією виробників мінеральних та питних вод України.

Організація Об'єднаних Націй (ООН) визнала воду одним з найважливіших ресурсів на планеті, без якого неможливе життя як таке, а доступ до джерел чистої води згідно норм ООН є одним з найважливіших показників сталого розвитку нації, держави.

Питання забезпечення населення питною водою належної якості та в достатніх об'ємах завжди було одним з пріоритетних для України. Наразі військові дії та їх наслідки призводять до погіршення ситуації з водними ресурсами, що пов'язано із впливом цілої низки чинників.

Саме тому, сьогоднішня конференція є надзвичайно актуальною не тільки з точки зору розвитку науки та інновацій, але й має надзвичайно велике практичне значення для економіки держави та забезпечення національної безпеки в контексті питної води.

Широке коло науковців, що є учасниками сьогоднішнього заходу, підтверджує його актуальність та важливість. Так, в конференції приймають участь біля 58 учасників, серед них представлені доповіді, тези та постери колег з різних куточків України та Європейського Союзу (Польща, Словаччина, Іспанія, Республіка Молдова, Франція, Португалія, Велика Британія), США. Тези доповідей представили науковці більше 40 вищих навчальних закладів, наукових установ та організацій.

Інститут колоїдної хімії та хімії води ім. А.В. Думанського НАН України, який є єдиною в Україні академічною установою, діяльність якої цілком і повністю пов'язана з комплексним вирішенням усіх аспектів хімії та технології води, колоїдної та аналітичної хімії. Вчені інституту зробили значний внесок в скарбницю світової та вітчизняної науки. В Інституті розроблено високоефективні унікальні технології очищення різних типів природних та стічних вод, технології одержання високоякісної питної води, розроблено Державні стандарти України щодо якості питної води та джерел питного водопостачання, а також методик її контролю.

В Національному університеті харчових технологій питанням наукових досліджень та розробок в галузі технології питної води та води для харчових підприємств приділяється достатньо велика увага. Крім того, на кафедрі

технології цукру і підготовки води Навчально-наукового інституту харчових технологій здійснюється підготовка здобувачів за освітньою програмою «Технології цукрів, полісахаридів і підготовки водиу промислових та крафтових виробництвах» – майбутніх фахівців для підприємств з виробництва фасованої води, водоканалів, лабораторій контролю якості води та харчових виробництв.

Варто зазначити, що післявоєнна відбудова та розквіт нашої держави можливий за умови невинної кропіткої праці викладачів та науковців в галузі водопідготовки, водоочищення та пошуку нових надходжень, можливостей та здобутків.

Ми вдячні кожному за сьогоднішній внесок в проведення конференції та бажаємо наснаги та сміливості в розвитку науки та освіти України!

З повагою, ректор НУХТ

**Олександр ШЕВЧЕНКО**

## ЗМІСТ

**Секція 1. Актуальні питання впливу фізико-хімічних властивостей води на процеси водопідготовки.....17**

**1. ВИЗНАЧЕННЯ БІОДОСТУПНИХ ФОРМ АЛЮМІНІЮ У ПИТНИХ І ПОВЕРХНЕВИХ ПРИРОДНИХ ВОДАХ**

**<sup>1</sup>Сергій Сухарев, <sup>1</sup>Оксана Сухарева, <sup>2</sup>Руслан Марійчук**

<sup>1</sup>*ДВНЗ «Ужгородський національний університет», м. Ужгород, Україна*

<sup>2</sup>*Університет в Прешові, м. Прешов, Словаччина.....18*

**2. EFFECT OF SHORT CHAIN ALCOHOL ON SURFACTANT PERFORMANCE IN AQUEOUS SOLUTIONS AND SUSPENSIONS**

**Nina M. Kovalchuk<sup>a</sup>, Pavlina Basarova<sup>b</sup>, Artur Sergunin<sup>b</sup>, Eugene V. Aksenenko<sup>c</sup>, Mark J.H. Simmons<sup>a</sup>**

<sup>a</sup>*School of Chemical Engineering, University of Birmingham, UK*

<sup>b</sup>*Department of Chemical Engineering, University of Chemistry and Technology, Prague, Czech Republic*

<sup>c</sup>*Institute of Colloid and Water Chemistry NASU, Kyiv, Ukraine.....20*

**3. GREEN SYNTHESIS OF SILVER NANOPARTICLES FOR WATER PURIFICATION**

**Ruslan Mariychuk<sup>1</sup>, Romana Smolkova<sup>1</sup>, Adriana Eliasova<sup>1</sup>, Lyudmyla M. Grishchenko<sup>2</sup>, Vladyslav V. Lisnyak<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>*Department of Ecology, Faculty of Humanities and Natural Sciences, University of Presov, Presov, Slovakia*

<sup>2</sup>*Department of Physical Chemistry, Faculty of Chemistry, Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv, Ukraine*

<sup>3</sup>*Department of Analytical Chemistry, Faculty of Chemistry, Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv, Ukraine.....22*

**4. ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ПАРАМЕТРІВ ВОДНОЇ СИСТЕМИ НА ДИСПЕРСНО-ФАЗОВИЙ РОЗПОДІЛ ОРГАНІЧНИХ ЕКОТОКСИКАНТІВ**

**МаксимГорбань, МихайлоМілюкін**

*Інститут колоїдної хімії та хімії води ім. А.В. Думанського НАН України,*

*бул. Академіка Вернадського 42, Київ, Україна.....24*

**Секція 2. Інноваційні підходи до вирішення проблем якості та безпечності питної води.....27**

**5. ЗАСТОСУВАННЯ ДЕРЕВНИХ МЕМБРАН,МОДИФІКОВАНИХ АЕРОСИЛОМ, ДЛЯ ЗНЕФТОРЕННЯ ВОДИ**

**Тетяна Дульнева, Людмила Деремешко**

*Інститут колоїдної хімії та хімії води ім. А.В. Думанського НАН України, Київ, Україна.....28*

**6. SILICA-SUPPORTED FLUORESCENT SENSOR FOR DOXYCYCLINE WITH ENHANCED SENSITIVITY UTILIZING RARE EARTH METAL IONS**

**Olha Semeshko<sup>1,2</sup>, Inna Melnyk<sup>1</sup>**

*<sup>1</sup>Institute of Geotechnics SAS, Košice, Slovak Republic*

*<sup>2</sup>Kherson National Technical University, Khmelnytskyi, Ukraine.....31*

**7. RESEARCH ON THE USE OF FERRITES MFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> (M= Ni, Mn, Zn)FOR THE PHOTOCATALYTIC DECOMPOSITION OF METHYLENE BLUE IN WATER**

**Frolova L., Olkhov K., Zavoloka M., Rodin D., Nikitin M.**

*Ukrainian State University of Science and Technology.....35*

**8. ОЧИЩЕННЯ ДНІПРОВСЬКОЇ ВОДИ МІКРОФІЛЬТРАЦІЙНИМИ МЕМБРАНАМИ З ДЕРЕВИНИ**

**Людмила Мельник, Тетяна Дульнева, Людмила Деремешко**

*Інститут колоїдної хімії та хімії води ім. А.В. Думанського НАН України, Київ, Україна.....36*

**9.TUNING SELECTIVITY FOR PERCHLORATE DETERMINATION IN WATER AND SOIL EXTRACTS**

**Yuliya Mazna, Oleg Zuy**

*A.V. Dumansky Institute of Colloid Chemistry and Water Chemistry of NAS of Ukraine, Kyiv, Ukraine.....39*

**10. ПРОГНОЗУВАННЯ ЗМІНИ ЕКОЛОГІЧНОГО СТАНУ ПОВЕРХНЕВИХ ВОДНИХ ОБ'ЄКТІВ З УРАХУВАННЯМ ВПЛИВУ ВИЩЕРОЗТАШОВАНИХ ПРИТОКІВ**

**<sup>1</sup>Світлана Коваленко, <sup>1</sup>Роман Пономаренко, <sup>2</sup>Елеонора Дармофал**

*<sup>1</sup>Національний університет цивільного захисту України, Харків, Україна*

*<sup>2</sup>Національний аерокосмічний університет ім. М.Є.Жуковського «Харківський авіаційний інститут».....42*



## **11. НОВІ АНАЛІТИЧНІ СИСТЕМИ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ДЕЯКИХ ТОКСИЧНИХ РЕЧОВИН У ВОДАХ**

**<sup>1</sup>ЖолтКормош, <sup>1</sup>Наталія Горбатюк, <sup>2</sup>Оксана Юрченко, <sup>2</sup>Тетяна Савчук,**

**<sup>2</sup>Сергій Супрунович, <sup>3</sup>Наталія Кормош, <sup>4,5</sup>Володимир Ткач**

*<sup>1</sup>Уманський державний педагогічний університет імені Павла Тичини, Умань, Україна*

*<sup>2</sup>Волинський національний університет імені Лесі Українки, Луцьк, Україна*

*<sup>3</sup>Луцький базовий фаховий медичний коледж, Луцьк, Україна*

*<sup>4</sup>Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича, Чернівці, Україна*

*<sup>5</sup>Факультет інженерії університету Порту, Порту, Португалія.....45*

## **12. AMINO-CONTAINING ORGANOSILICAS AS SORBENTS FOR THE RARE-EARTH ELEMENTS**

**Veronika Tomina<sup>1</sup>, Nataliia Stoliarchuk<sup>1</sup>, Olha Semeshko<sup>2</sup>, Inna Melnyk<sup>2</sup>**

*<sup>1</sup>Chuiko Institute of Surface Chemistry of NAS of Ukraine,*

*<sup>2</sup>Institute of Geotechnics of Slovak AS.....48*

## **13. АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРИ ПРИ ДОСЛІДЖЕННІ ЯКОСТІ ВОДНИХ РЕСУРСІВ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ НАУКОМЕТРИЧНОЇ БАЗИ SCOPUS**

**<sup>1</sup>Мар'яна Швець,<sup>1</sup>Богдан Сокіл, <sup>1</sup>Софія Сверстюк,<sup>1</sup>Галина Гуменюк,<sup>2</sup>Андрій Сверстюк**

*<sup>1</sup>Тернопільський національний педагогічний університет імені Володимира Гнатюка, м. Тернопіль.*

*<sup>2</sup>Тернопільський національний медичний університет імені І.Я. Горбачевського*

*.....51*

## **14. РОЗРОБКА МОБІЛЬНОЇ УСТАНОВКИ ДЛЯ ОЧИЩЕННЯ ПИТНОЇ ВОДИ**

**Дмитро Стрижак, Наталія Гусятинська**

*Національний університет харчових технологій, Київ, Україна.....55*

## **15. РОЗРОБКА МЕТОДИКИ КОНЦЕНТРУВАННЯ ТА ВИЗНАЧЕННЯ БІСМУТУ У ВОДІ З ВИКОРИСТАННЯМ КРАУН-ЕТЕРІВ**

**<sup>1</sup>Олег Кроніковський, <sup>2</sup>Наталія Стаднічук**

*<sup>1</sup>Національний університет харчових технологій*

*<sup>2</sup>ДП «Науковий центр превентивної токсикології, харчової та хімічної безпеки імені академіка Л. І. Медведя Міністерства охорони здоров'я України», м. Київ.....58*

**16. АЛЬТЕРНАТИВНІ СПОСОБИ ЗНЕЗАРАЖЕННЯ ВОДИ  
ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ**

**Василь Сидор**

*Національний університет харчових технологій, Київ, Україна.....60*

**17. РОЗРОБКА УСТАНОВКИ ОЧИЩЕННЯ ВОДИ ДЛЯ  
ІНДИВІДУАЛЬНОГО КОРИСТУВАННЯ В ЕКСТРЕМАЛЬНИХ  
УМОВАХ**

**Максим Бажал , Олена Кушнір, Тетяна Кучма, Річард Марііта**

*Неприбуткова організація UV4Good, США, Чикаго.....61*

**18. ВПЛИВ ХІМІЧНИХ ТА МІКРОБІОЛОГІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ  
ПРИРОДНИХ ВОД НА ЕФЕКТИВНІСТЬ ЗНЕЗАРАЖЕННЯ  
ESCHERICHIA COLI ТА CANDIDA ALBICANS ЕКОЛОГІЧНО  
БЕЗПЕЧНИМИ РЕАГЕНТАМИ**

**Людмила Мельник, Олена Болгова, Ганна Ульянова**

*Інститут колоїдної хімії і хімії води ім. А.В. Думанського НАН України,  
м. Київ, Україна.....63*

**19. APPLICATION OF LASER-INDUCED BREAKDOWN SPECTROSCOPY (LIBS) FOR WATER QUALITY MONITORING**

**Iryna Goncharova<sup>1,2</sup>, Dominique Guichaoua<sup>1</sup>, Bouchta Sahraoui<sup>1</sup>**

*University of Angers, UMR CNRS, Angers, France*

*State University of Trade and Economics, Kyiv, Ukraine.....66*

**Секція 3. Підвищення ефективності процесів підготовки питної води.  
Фізико-хімічні та біологічні аспекти очищення питної води.....69**

**20. КОМПОЗИТНИЙ СОРБЕНТ НА ОСНОВІ КЛИНОПТИЛОЛІТУ  
ТА МАГНЕТИТУ ДЛЯ ВИЛУЧЕННЯ <sup>137</sup>CS ТА <sup>90</sup>SR З ВОДНИХ  
РОЗЧИНІВ**

**Світлана Кобець, Олександр Косоруков, Галина Пшинко**

*Інститут колоїдної хімії та хімії води ім. А.В. Думанського НАН України,  
Київ, Україна.....70*

**21. ГЛИБОКА ДЕКТРУКЦІЯ ГУМІНОВОЇ КИСЛОТИ В  
НЕЙТРАЛЬНОМУ ВОДНОМУ СЕРЕДОВИЩІ В ГОМОГЕННІЙ  
ФОТОКАТАЛІТИЧНІЙ СИСТЕМІ**

**Віра Вакуленко, Ірина Столярова, Юлія Швадчина, Владислав  
Гончарук**

*Інститут колоїдної хімії та хімії води ім. А.В. Думанського НАН України,  
Київ, Україна.....73*

**22. ОЦІНКА ТОКСИЧНОСТІ ДЛЯ *DAPHNIA MAGNA* РЕАКЦІЙНИХ СУМІШЕЙ ПІСЛЯ ФОТОХІМІЧНОГО ТА ФОТОКАТАЛІТИЧНОГО ОКИСНЕННЯ ВОДНИХ РОЗЧИНІВ ГУМІНОВОЇ КИСЛОТИ ПЕРОКСИДОМ ВОДНЮ**

**Андрій Головков, Ірина Столярова, Віра Вакуленко**

*Інститут колоїдної хімії та хімії води ім. А.В. Думанського НАН України, Київ, Україна.....76*

**23. СОРБЕНТИ НА ОСНОВІ КЛИНОПТИЛОЛІТУ З ДОДАТКОВИМИ ФУНКЦІОНАЛЬНИМИ ВЛАСТИВОСТЯМИ**

**Зеновій Знак, Марта Пиріг, Мар'ян Мацьків, Тарас Матвіїв**

*Національний університет «Львівська політехніка», м. Львів.....79*

**24. ВИЗНАЧЕННЯ ВМІСТУ АКРИЛАМІДУ У ФЛОКУЛЯНТІ ТА ВОДІ ПИТНІЙ**

**<sup>1</sup>Наталія Стаднічук, <sup>1</sup>Ольга Макарова, <sup>2</sup>Олег Кроніковський**

*<sup>1</sup>ДП «Науковий центр превентивної токсикології, харчової та хімічної безпеки імені академіка Л.І. Медведя Міністерства охорони здоров'я України», Київ, Україна*

*<sup>2</sup>«Національний університет харчових технологій», Київ, Україна.....81*

**25. BIOSYNTHESIZED MAGNETIC NANOPARTICLES: ECO-FRIENDLY ADSORBENTS FOR EFFECTIVE WATER PURIFICATION**

**<sup>1</sup>Samuel García García, <sup>2</sup>Tetiana Hubetska, <sup>2</sup>Natalia Kobylinska, <sup>1</sup>Santiago Garcia-Granda**

*<sup>1</sup>University of Oviedo - CINN(CSIC), Oviedo, Spain*

*<sup>2</sup>A.V. Dumansky Institute of Colloid and Water Chemistry, National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine.....82*

**26. TESTING OF MODIFIED ACTIVATED CARBONS FOR REMOVAL OF SULPHIDE AND NITRITE IONS FROM WATER**

**Raisa Nastas, Irina Ceban, Tatiana Goreacioc, Tudor Lupascu**

*Institute of Chemistry of Moldova State University, Chisinau, Republic of Moldova.....84*

**27. USE OF PHMG DERIVATIVES IN MILITARY FIELD CONDITIONS**

**Taras Nizhnik<sup>1</sup>, Tatyana Strikalenko<sup>2</sup>**

*<sup>1</sup>National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky KPI", Kyiv, Ukraine*

*<sup>2</sup>Odesa National University of Technology, Odesa, Ukraine.....88*

**Секція 4. Водопідготовка у харчових виробництвах: стан та перспективи розвитку.....91**

**28. STUDY OF FILTERING PROPERTIES OF OBSIDIAN AND FLINT IN WATER CONDITIONING**

**Iryna Samchenko, Inna Karpovych**

*National University of Food Technologies.....92*

**29. ДОСЛІДЖЕННЯ ФІЛЬТРУВАННЯ ВОДИ ЗА ДОПОМОГОЮ КОКОСОВОГО АКТИВОВАНОГО ВУГІЛЛЯ**

**Ірина Самченко, Світлана Олійник**

*Національний університет харчових технологій.....93*

**30. ЗАСТОСУВАННЯ ФІЛЬТРУЮЧИХ МАТЕРІАЛІВ ДЛЯ ОЧИЩЕННЯ ВОДИ ВІД ЗАЛІЗА І МАРГАНЦЮ У ВИРОБНИЦТВІ АЛКОГОЛЬНИХ НАПОЇВ**

**Світлана Олійник, Захарій Палійчук**

*Національний університет харчових технологій, Київ, Україна.....94*

**31. ФІЛЬТРУВАННЯ ВОДИ У ЛІКЕРО-ГОРІЛЧАНОМУ ВИРОБНИЦТВІ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ АНТРАЦИТОВИХ ФІЛЬТРАНТІВ**

**Світлана Олійник, Богдан Дем'янов**

*Національний університет харчових технологій, Київ, Україна.....96*

**32. ВОДНЕ ГОСПОДАРСТВО ЦУКРОВОГО ЗАВОДУ ТА НАПРЯМИ ЙОГО ВДОСКОНАЛЕННЯ НА ШЛЯХУ УКРАЇНИ ДО ЄВРОПЕЙСЬКОГО СОЮЗУ**

**<sup>1</sup>Володимир Кухар, <sup>1</sup>Олександр Чернявський, <sup>1</sup>Віталій Саповський, <sup>2</sup>Олександр Кухар, <sup>3</sup>Людмила Чернявська**

<sup>1</sup>*ТОВ «КОМПАНІЯ «ТМА», м.Київ*

<sup>2</sup>*Яготинський механічний завод*

<sup>3</sup>*ІнститутпродовольчихресурсівНААНУкраїни.....97*

**33. WAYS TO IMPROVE THE DESIGN AND OPERATING PARAMETERS OF THE DESALINATION FREEZING PLANT**

**Bogdan Vasyliv, Volodymyr Doroshenko, Oleh Vasyliv**

*Odesa National Technological University, Ukraine.....100*

**Секція 5. Впровадження мембранних технологій для поліпшення якості питної води та напівпродуктів харчових вироб-ництв.....103**

**34. ВИЛУЧЕННЯ СУ ЗІ ШЛАМУ ГАЛЬВАНІЧНОГО ВИРОБНИЦТВА ТА ЕЛЕКТРООСАДЖЕННЯ НА ЕЛЕКТРОДІ**

**Роман Кліщенко, Раїса Чеботарьова, Сергій Ремез**

*Інститут колоїдної хімії та хімії води ім. А.В. Думанського Національної Академії Наук України, м. Київ.....104*

**35. АНАЛІЗ ВІДНОВЛЕНОГО ЯБЛУЧНОГО СОКА МЕТОДОМ ЯДЕРНОГОМАГНІТНОГО РЕЗОНАНСУ**

**Алла Коваль, Марія Гребень, Тетяна Євтушенко, Таміла Адамчук**

*Державне підприємство «Науковий центр превентивної токсикології, харчової та хімічної безпеки імені академіка Л.І.Медведя Міністерства охорони здоров'я України», м. Київ, Україна.....107*

**36. ЗАСТОСУВАННЯ ЕЛЕКТРОЛІЗНО-МЕМБРАННИХ ТЕХНОЛОГІЙ ДЛЯ ОЧИЩЕННЯ СЛАБОАКТИВНИХ РАДІОАКТИВНИХ ВОД**

**Сергій Гузій<sup>1</sup>, Віталіна Лук'янова<sup>1</sup>, Віктор Ніколенко<sup>1</sup>, Олександр Пугач<sup>1</sup>, Артем Вознищик<sup>1</sup>, Ірина Машкіна<sup>2</sup>, Тетяна Носенко<sup>2</sup>**

*<sup>1</sup>Державна установа Інститут геохімії навколишнього середовища НАН України, Київ, Україна*

*<sup>2</sup>Київський столичний університет ім. Б. Грінченка, Київ, Україна.....110*

**37. ВПЛИВ ПАРАМЕТРІВ ОБРОБКИ НА ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИДАЛЕННЯ ФАРМАЦЕВТИЧНИХ ПРЕПАРАТІВ РІЗНОЇ ХІМІЧНОЇ ПРИРОДИ З ВОДИ В ПРОЦЕСІ НАНОФІЛЬТРАЦІЇ**

**Людмила Мельник, Олена Хмельницька, Ольга Семінська, Маргарита Балакіна**

*Інститут колоїдної хімії та хімії води ім. А.В. Думанського НАН України, м. Київ, Україна.....112*

**38. ОЧИЩЕННЯ ВОДИ Р. ДНІПРО МЕТОДОМ УЛЬТРАФІЛЬТРАЦІЇ**

**Ольга Семінська, Маргарита Балакіна, Людмила Мельник, Олена Хмельницька**

*Інститут колоїдної хімії та хімії води ім. А.В. Думанського НАН України, Київ, Україна.....115*

**Секція 6. Бутильовані води: нові види продукції, технології, якість, безпечність, фізіологічна повноцінність.....119**

**39. РЕГУЛЮВАННЯ ЯКОСТІ БУТИЛЬОВАНОЇ ПИТНОЇ ВОДИ В УКРАЇНІ**

**Ліза Личкун, Дарія Дунда, Тетяна Чорна**

*Державний податковий університет, Ірпінь, Україна.....120*

**40. РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ НАПОЇВ НА ОСНОВІ КРЕМНІЙВМІСНИХ МІНЕРАЛЬНИХ ВОД**

**Олена Коваленко, Роман Березецький**

*Одеський національний технологічний Університет, Одеса, Україна...123*

**41. СЕНСОРНИЙ АНАЛІЗ МІНЕРАЛЬНИХ ВОД ЯК ІННОВАЦІЯ МАРКЕТИНГУ ФАСОВАНИХ МІНЕРАЛЬНИХ ВОД**

**Тетяна Стрікаленко**

*Одеський національний технологічний університет, Одеса, Україна...126*

**42. МЕТОДОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ПРОБЛЕМИ ТЕХНОЛОГІЇ ФАСОВАНИХ ВОД**

**Тетяна Стрікаленко**

*Одеський національний технологічний університет, Одеса, Україна....128*

**Секція 7. Водооборотні системи в промисловості та енергетиці. Очищення промислових стічних вод.....130**

**43. ДОСЛІДЖЕННЯ ФІЛЬТРУЮЧОГО МАТЕРІАЛУ АФМ В ПРОЦЕСІ КОНТАКТНОЇ КОАГУЛЯЦІЇ ПРИ ФІЛЬТРАЦІЇ ВОДИ З ПОВЕРХНЕВОГО ДЖЕРЕЛА**

**Іван Потапчук, Наталія Гусятинська**

*Національний університет харчових технологій, Київ, Україна.....131*

**44. ОТРИМАННЯ РЕАГЕНТІВ ОЧИЩЕННЯ СТІЧНИХ ВОД ВІД ФОСФАТІВ ПРИ УТИЛІЗАЦІЇ ПРОМИСЛОВИХ ВІДХОДІВ, ЩО МІСТЯТЬ СПОЛУКИ ЗАЛІЗА**

**Кожура Олег, Цибуля Євген, Ярошенко Вікторія, Лахман Марія**

*ННІ «Український Державний Хіміко-Технологічний Університет».....133*

**45. ОЦІНКА ВПЛИВУ ПОПЕРЕДНЬОГО ФОТООЗОНУВАННЯ НА СТУПІНЬ ФОТОКАТАЛІТИЧНОЇ ДЕСТРУКЦІЇ НІАР У ВОДОПРОВІДНІЙ ВОДІ**

**Юлія Швадчина, Віра Вакуленко**

*Інститут колоїдної хімії та хімії води ім. А.В. Думанського НАН України, Київ, Україна.....135*

**46. ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ ГІДРОДИНАМІЧНОЇ КАВІТАЦІЇ ДЛЯ НЕЙТРАЛІЗАЦІЇ СТОКІВ МОЛОЧНОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ**

*Богдан Целень, Олександр Ободович, Анна Недбайло, Любов Гоженко, Наталія Радченко*

*Інститут технічної теплофізики НАН України, м. Київ, Україна.....138*

**47. СОНОХІМІЧНИЙ СИНТЕЗ КОМПОЗИТУ “НАНОЧАСТИНКИ  $\text{Cu}_2\text{O}$ -КЛИНОПТИЛОЛІТ” ТА ЙОГО ВИКОРИСТАННЯ ДЛЯ АКТИВАЦІЇ ПЕРІОДАТИВ В ОКИСНЮВАЛЬНІЙ ДЕГРАДАЦІЇ МОНОАЗОБАРВНИКА ACID RED 14**

**Юрій Сухацький, Роман Мних, Володимир Цимбалюк, Мартин Созанський**

*Національний університет “Львівська політехніка”, Львів, Україна....139*

**48. ВПЛИВ РУЙНУВАННЯ КАХОВСЬКОЇ ГЕС НА ПІДПРИЄМТСТВА ТА ШЛЯХИ ЇХ ВИРІШЕННЯ**

<sup>1</sup>**Надія Климова, Юрій Горбачов, Мальцев Богдан,**

<sup>2</sup>**Олексій Хлопицький, Ігор Коваленко, Наталія Макаренченко**

<sup>1</sup>*ІНІ «Український державний хіміко-технологічний університет»,*

<sup>2</sup>*Український державний університет науки і технологій, Дніпро.....142*

**Секція 8. Еколого-економічні аспекти раціонального водокористування.....144**

**49. ЕКОЛОГІЧНА ОЦІНКА ЯКОСТІ ВОДИ БАСЕЙНУ РІЧКИ СТРИЙ**

**Людмила Роман, Сергій Сухарев**

*ДВНЗ «Ужгородський національний університет», Ужгород, Україна...145*

**50. ЯКІСТЬ, БЕЗПЕЧНІСТЬ ТА ФІЗІОЛОГІЧНА ПОВНОЦІННІСТЬ ПИТНОЇ ВОДИ В РЕАЛІЯХ СЬОГОДЕННЯ В УКРАЇНИ**

**Андрусишина Ірина**

*ДУ «Інститут медицини праці імені Ю.І.Кундієва НАМН», Київ,*

*Україна.....147*

**51. MONITORING AND INNOVATIVE METHODS IN WATER TREATMENT. THEIR ROLE IN ENSURING THE ENVIRONMENTAL STABILITY OF NATURAL ECOSYSTEMS**

**Mykhailo Tertychnyi, Svitlana Shulga**

*National University of Food Technologies, Kyiv, Ukraine.....149*

**52. ЦЕЛЮЛОЗНИЙ ФІЛЬТР МОДИФІКОВАНИЙ ОРГАНО-НЕОРГАНІЧНИМ КОМПОЗИТОМ НА ОСНОВІ ВУГЛЕЦЕВИХ СОРБЕНТІВ ТА ОКСИДУ ЗАЛІЗА**

**Коломієць Є.О.<sup>1</sup>, Рождественська Л.М.<sup>1</sup>, Куделко К.О.<sup>1</sup>, Яценко Т.В.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>*V.I. Vernadskii Institute of General and Inorganic Chemistry of the NAS of Ukraine, Kyiv, Ukraine.....150*

**53. ЩО НАСПРАВДІ ВІДБУЛОСЯ У СЕЙМІ У СЕРПНІ 2024 Р.:  
ЧУТКИ І РЕАЛЬНІСТЬ**

**Наталія Осадча, Андрій Орещенко, Ірина Пальваль**

*Український гідрометеорологічний інститут ДСНС України та НАН України, Київ, Україна.....153*

**54. ПИТНЕ ВОДОПОСТАЧАННЯ В УКРАЇНІ: СУЧАСНІ ВИКЛИКИ  
НА ШЛЯХУ ДОСЯГНЕННЯ ЦІЛЕЙ СТАЛОГО РОЗВИТКУ**

<sup>1</sup>Наталія Гусятинська, <sup>2</sup>Тетяна Чорна, <sup>3</sup>Agnieszka Dziubińska

<sup>1</sup>Національний університет харчових технологій, Київ, Україна

<sup>2</sup>Державний податковий університет, Ірпінь, Україна

<sup>3</sup>Uniwersytet Ekonomiczny w Katowicach, Польща.....156

**55. МОНІТОРИНГ ХЛОРОРГАНІЧНИХ ПЕСТИЦИДІВ,  
ПОЛІХЛОРОВАНИХ БІФЕНІЛІВ ТА ПОЛІЦИКЛІЧНИХ  
АРОМАТИЧНИХ ВУГЛЕВОДНІВ У ПОВЕРХНЕВІЙ ВОДІ Р. ДНІПРО**

**Михайло Мілюкін, Максим Горбань**

*Інститут колоїдної хімії та хімії води ім. А.В. Думанського НАН України, Київ, Україна.....158*

**56. ENVIRONMENTAL AND ECONOMIC ASPECTS OF RAINWATER  
COLLECTION AND USE**

**Olena Kovalenko**

*Odesa National University of Technology, Odesa, Ukraine.....160*

**57. ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗНЕЗАЛІЗНЕННЯ  
ПІДЗЕМНИХ ВОД З ВИКОРИСТАННЯМ СУЧАСНИХ ФІЛЬТРУЮЧИХ  
МАТЕРІАЛІВ**

**Тарас Кузуб**

*Національний університет харчових технологій, Київ, Україна.....163*

**58. ПІДГОТОВКА ФАХІВЦІВ ДРУГОГО (МАГІСТЕРСЬКОГО)  
РІВНЯ ВИЩОЇ ОСВІТИ ЗА СПЕЦІАЛЬНІСТЮ 181 «ХАРЧОВІ  
ТЕХНОЛОГІЇ» ТА ОСВІТНЬО-ПРОФЕСІЙНОЮ ПРОГРАМОЮ  
«ТЕХНОЛОГІЇ ЦУКРІВ, ПОЛІСАХАРИДІВ І ПІДГОТОВКИ ВОДИ  
У ПРОМИСЛОВИХ ТА КРАФТОВИХ ВИРОБНИЦТВАХ»**

**Інна Карпович, Наталія Гусятинська**

*Національний університет харчових технологій, Київ, Україна.....165*



## **СЕКЦІЯ 1**

# **АКТУАЛЬНІ ПИТАННЯ ВПЛИВУ ФІЗИКО-ХІМІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ВОДИ НА ПРОЦЕСИ ВОДОПІДГОТОВКИ**

УДК 543.3:543.4:

## **Визначення біодоступних форм алюмінію у питних і поверхневих природних водах**

**<sup>1</sup>Сергій Сухарев, <sup>1</sup>Оксана Сухарева, <sup>2</sup>Руслан Марійчук**

<sup>1</sup>*ДВНЗ «Ужгородський національний університет», м. Ужгород, Україна*

<sup>2</sup>*Університет в Прешові, м. Прешов, Словаччина*

**Вступ.** Алюміній є поширеним хімічним елементом, проте біодоступні його форми є токсичні для людини, рослин і тварин. Саме з вживанням питної води [1], яка містить біодоступні форми алюмінію, пов'язують хвороби Альцгеймера та Паркінсона [2, 3]. При цьому, важливішими джерелами питної води для людини є поверхневі та колодязні води [4], які можуть не проходити водопідготовку, але при цьому містити біодоступні форми алюмінію. Тому визначення біодоступних форм алюмінію у питних і поверхневих природних водах є актуальним.

Проблема проведення таких досліджень полягає у виборі процедури визначення алюмінію, адже більшість методів та методик передбачають визначення валового вмісту алюмінію. Сьогодні цей показник є малоінформативним. Визначення біодоступних форм алюмінію у водах передбачає застосування методів розділення та концентрування, але кількість ефективних методик обмежена. Серед методик визначення біодоступних форм алюмінію у водах заслуговує уваги методика атомно-абсорбційного визначення у поєднанні з мікроекстракційним концентруванням і розділенням [5]. Вона високочутлива, експресна та проста у виконанні, тому саме її використали у даному дослідженні.

Метою даної роботи є скринінг вмісту біодоступних форм алюмінію у поверхневих (річкових) водах басейну річки Тиса, а також питних вод окремих населених пунктів Закарпатської області, у яких водопідготовка не передбачає глибокої очистки питних вод.

**Матеріали і методи.** Скринінгові дослідження проведені у вересні 2024 року для річок Уж, Латориця, Боржава і Тиса (у межах Закарпатської області), а також питних вод центрального водогону лівобережної частини міста Ужгорода.

У роботі використали атомно-абсорбційний спектрометр Shimadzu AA-7000 ((Shimadzu Co., Japan)) з електротермічним атомізатором, вортекс-змішувач VM-D Digital Vortex Mixer (Oxford Lab Products, USA), центрифугу Premiere XC-2415-220 (Premiere, USA), рН-метр HI-2211 (HANNA Instruments, USA) та поліпропіленові градуйовані конусні пробірки з гвинтовою кришкою.

Все використані реагенти мали аналітичну чистоту, застосовували бідистильовану воду. Базовими реагентами для модифікації, попереднього розділення та концентрування є саліцилальдегід-4-піколінгідрозон та додецилсульфат натрію, мікроекстракцію проводили ізоамілацетатом (200 мкл, співвідношення фаз 25:1).

**Результати.** Визначення вмісту біодоступних форм алюмінію у поверхневих (річкових) водах показало:

- річка Уж: 6,8-18,4 мкг/л;
- річка Латориця: 4,3-33,6 мкг/л;
- річка Боржава: 3,6-34,6 мкг/л;
- річка Тиса: 2,1-28,7 мкг/л.

Концентрація біодоступних форм алюмінію у річкових водах змінюється фрагментарно, визначальним є геохімія басейнів річок та їх морфологія. Прослідковується кореляція (дані кластерного та факторного аналізу) між вмістом біодоступних форм алюмінію у річковій воді та рівнем їх замулювання. В цілому, вміст біодоступних форм алюмінію у поверхневих водах є невеликим.

Визначення вмісту біодоступних форм алюмінію у питних водах показало, що вміст коливається у межах 1,3-5,5 мкг/л, що відповідає показникам безпеки.

**Висновки.** Результати дослідження показали, що поверхневі (річкові) та питні води містять невисоку концентрацію біодоступних форм алюмінію у межах 1,3-34,6 мкг/л, що відповідає нормативам безпеки.

#### **Перелік джерел інформації**

1. Krupińska I. Aluminium Drinking Water Treatment Residuals and Their Toxic Impact on Human Health. *Molecules*.2020, 25, 641. <https://doi.org/10.3390/molecules25030641>

2. Pogue A.I., Lukiw W.J. Aluminium, the genetic apparatus of the human CNS and Alzheimer's disease (AD) Aluminium, appareil génétique du système nerveux central humain et maladie d'Alzheimer (AD). *Morphologie*. 2016,100(329), 56–64. <https://doi.org/10.1016/j.morpho.2016.01.001>

3. Exley C., House, E.R. Aluminium in the human brain. *Monatshefte für Chemie*. 2011,142, 357–363. <https://doi.org/10.1007/s00706-010-0417-y>

4. Taloor A.K., Sharma S., Suryakiran S., Sharma R., Sharma M. Groundwater contamination and health risk assessment in Indian subcontinent: A geospatial approach. *Current Opinion in Environmental Science & Health*.2024, 39, 100555. <https://doi.org/10.1016/j.coesh.2024.100555>

5. Ruslan Mariychuk, Sergii Sukharev, Oksana Sukhareva, Liudmyla Roman, Tetiana Babilia. Ecologically friendly procedure for the determination of bioavailable forms of aluminum in natural waters by electrothermal atomic absorption spectroscopy combined with microextraction technique.*Environmental Geochemistry & Health*. 2024, 46(11), 444. <https://doi.org/10.1007/s10653-024-02230-w>

Дане дослідження підтримано National Scholarship Program for the Supports of Mobility of University Students, PhD Students, University Teachers, Researchers and Artist of the Slovak Republic, SAIA (ID 35598).

## Effect of short chain alcohol on surfactant performance in aqueous solutions and suspensions

Nina M. Kovalchuk<sup>a</sup>, Pavlina Basarova<sup>b</sup>, Artur Sergunin<sup>b</sup>,  
Eugene V. Aksenenko<sup>c</sup>, Mark J.H. Simmons<sup>a</sup>

<sup>a</sup>*School of Chemical Engineering, University of Birmingham, UK*

<sup>b</sup>*Department of Chemical Engineering, University of Chemistry and Technology, Prague, Czech Republic*

<sup>c</sup>*Institute of Colloid and Water Chemistry NASU, Kyiv, Ukraine*

Most of industrially relevant liquid formulations are multicomponent and their performance depends considerably on interactions between ingredients. Here we study one of such interactions, effect of short chain alcohols on surfactant behaviour in aqueous solutions and suspensions. Surfactants are often included in formulations to improve wetting, cleaning properties or stabilise multiphase systems, while alcohols are included as cosolvents or disinfecting agents.

In this study, surface tension was measured using an Attension Sigma 701 tensiometer (Biolin Scientific, Finland) with a platinum ring. Spreading kinetics was obtained from video recordings on a Photron SA3 camera using ImageJ.

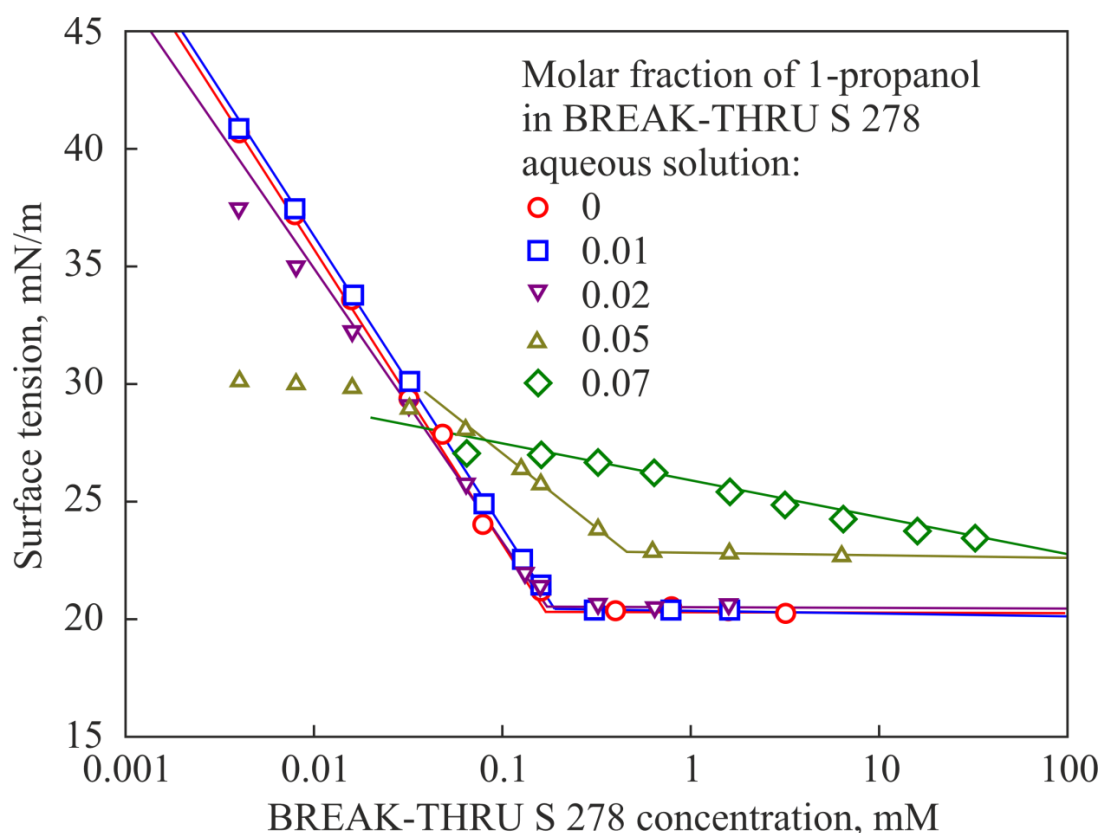
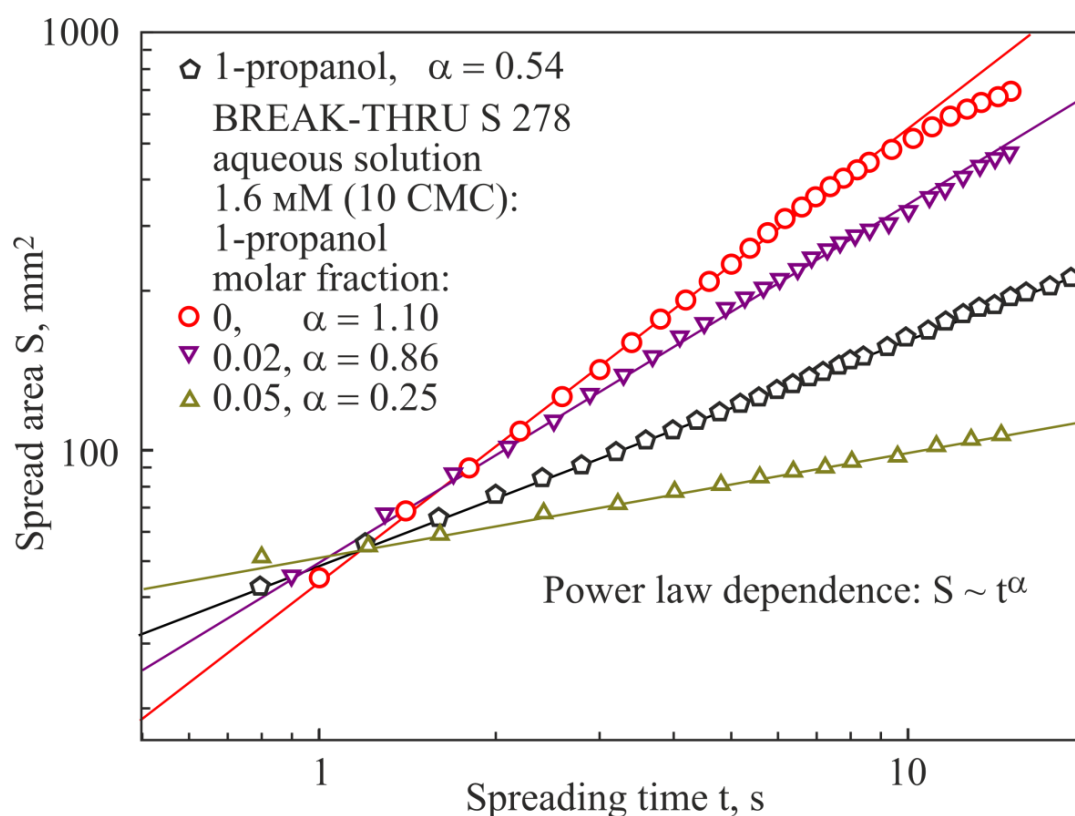


Fig. 1. Dependence of the surface tension on the concentration of BREAK-THRU S278 for different concentrations of 1-propanol in the aqueous solution

Perfluorooctanoic acid and trisiloxane surfactant BREAK-THRU S 278 have lower surface tension in aqueous solutions than studied short chain alcohol, 1-propanol. Such combination of alcohol/surfactant was never studied before. It was found that alcohol deteriorates performance of both surfactants, as shown in Fig. 1 for BREAK-THRU S 278 solutions. Even at small alcohol concentration, 0.01 molar fraction, surface activity of BREAK-THRU S 278 in water-alcohol mixture reduces by one order of magnitude in comparison with solution in pure water. At 1-propanol concentration of 0.05 molar fraction, activity reduces by another 2 orders of magnitude, critical micelle concentration increases 2.5 times, area per molecule increases by 30 %, and minimum surface tension increases by 2 mM/m.



**Fig. 2. Dependence of the spreading kinetics of BREAK-THRU S 278 aqueous solutions for different concentrations of 1-propanol in the solution**

The BREAK-THRU S 278 is a very good adjuvant used for example in agriculture, but addition of alcohol suppresses its performance (Fig. 2). Addition of 0.02 molar fraction of alcohol to solution decreases the spreading rate by 30 % and reduces spread area nearly twice. Surprisingly, the addition of alcohol has no effect on the deposition pattern formed by polystyrene particles dispersed in surfactant solution. For all studied suspensions spreading and evaporation resulted in formation a rather uniform deposit, distinct from dispersion in alcohol only.

This research was funded by EPSRC, UK, through the PREMIERE Programme Grant EP/T000414/1. We also acknowledge Dr Joachim Venzmer (Evonic) for donating trisiloxane surfactants.

## Green synthesis of silver nanoparticles for water purification

Ruslan Mariychuk<sup>1</sup>, Romana Smolkova<sup>1</sup>, Adriana Eliasova<sup>1</sup>,  
Lyudmyla M. Grishchenko<sup>2</sup>, Vladyslav V. Lisnyak<sup>3</sup>

<sup>1</sup>*Department of Ecology, Faculty of Humanities and Natural Sciences, University of Presov, Presov, Slovakia*

<sup>2</sup>*Department of Physical Chemistry, Faculty of Chemistry, Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv, Ukraine*

<sup>3</sup>*Department of Analytical Chemistry, Faculty of Chemistry, Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv, Ukraine*

**Introduction.** In recent decades, nanoparticles have emerged as a forefront topic of research, driven by their unusual physicochemical properties. Silver nanoparticles (AgNPs) have garnered immense interest owing to their exceptional optical, electrical, and antimicrobial properties. These properties make AgNPs versatile candidates for a wide range of applications, including environmental [1].

Green synthesis methods involve the use of natural compounds obtained from plants or microorganisms as reducing and stabilizing agents for the fabrication of AgNPs [2]. Other advantages of green synthesized AgNPs are biocompatibility and reduced cytotoxicity. Natural sources for green synthesis are renewable, abundant, energy- and cost-effective, enabling scalable production with minimal capital investment. The green approach also offers control over the size, shape, and surface chemistry of AgNPs through management of reaction conditions.

Green-synthesized AgNPs exhibit enhanced antimicrobial activity against a broad spectrum of pathogens, making them promising candidates for combating antimicrobial resistance and infectious diseases, including water treatment [3, 4].

The aim of this study was the application of the green synthesis approach for the preparation of AgNPs using low-cost and easily available medicinal plants.

**Materials and methods.** Peppermint leaf extract was prepared according to a previously published procedure [5]. Namely, 20 g of dry leaves were macerated in 200 ml of distilled water for 1 hour, then filtered and frozen to -18 °C until use in synthesis experiments. AgNPs were prepared by direct interaction of aqueous solutions: 0.5-1.0 mg/mL extracts and 1 mM HAuCl<sub>4</sub> with continuous stirring using a magnetic bar.

The characterization of AuNP nanocolloid solutions was carried out through UV-Vis spectroscopy using a Shimadzu UV-1800 spectrophotometer (Japan). The morphology analysis of Au NPs was conducted via transmission electron microscopy (TEM) using a JEOL JEM-2100F instrument.

### Results.

Formation of AgNPs was followed by the monitoring of the surface plasmonic resonance (SPR) absorption maximum, which is expected to be at 395-430 nm [6]. However, for the obtained nanocolloid solutions, the observed SPR maximum was surprisingly found at 449 nm (Fig. 1a).

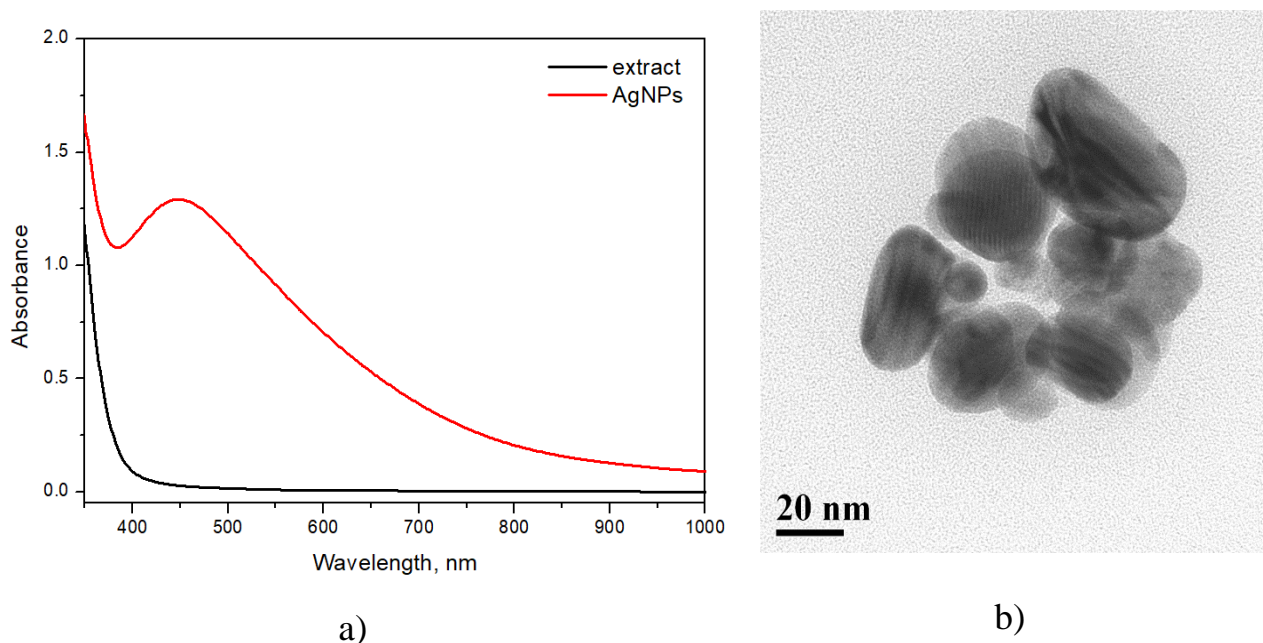


Figure 1. a) UV-Vis spectra of peppermint extract (black) and nanocolloid solution of AgNPs (red); b) TEM image of fyotosynthesized AgNPs

The position of the SPR peak can be explained by the formation of irregularly shaped AgNPs, which was confirmed by TEM (Fig. 1 b).

The shape of nanoparticles depends on the nature of surface active compounds that are present in plant extract. For example, irregularly shaped (nanotriangles) nanoparticles were observed at the synthesis of gold nanoparticles [5].

Synthesis of AgNPs was carried out at laboratory temperature (23 °C) by direct interaction of aqueous solutions. The time of reaction was 4 hours. This allows us to recognize this approach as a green synthesis, as the synthesis is energy- and time-effective and no toxic substances were used or produced.

**Conclusions.** We report the synthesis of irregularly shaped AgNPs with a size of 60-80 nm using an aqueous extract of peppermint. Such an approach ensures time and price efficiency, is friendly to the environment and the AgNPs obtained do not contain toxic compounds that make them appropriate for water treatment.

**Acknowledgements:** This study is supported by the Slovak Research and Development Agency under the project APVV SK-PL-23-0032: “Microbial response to phytosynthesized metal nanoparticles”.

#### References.

1. Poudel, D.K. *et al.* (2022) Plant-Mediated Green Synthesis of Ag NPs and Their Possible Applications: A Critical Review. *J. Nanotech.*, 2022, 2779237
2. Dubey R.K., Shukla S., Hussain Z. (2023) Green Synthesis of Silver Nanoparticles; A Sustainable Approach with Diverse Applications *Chin. J. Appl. Physiology*, 39, pp. e20230007. DOI: 10.62958/j.cjap.2023.007
3. Asif Saud *et al.* (2024) Progress in the Sustainable Development of Biobased (Nano)materials for Application in Water Treatment Technologies. *ACS Omega*, 9 (27), 29088–29113. DOI: 10.1021/acsomega.3c08883

4. Yadav J., Tare H. (2024) Silver Nanoparticles as Antimicrobial Agents: Mechanisms, Challenges, and Applications. *Int. J. Pharm. Quality Assurance*, 15 (1), pp. 546–553 DOI: 10.25258/ijpqa.15.1.82

5. Mariychuk, R. et al. (2022) The regularities of the *Mentha piperita* L. extract mediated synthesis of gold nanoparticles with a response in the infrared range. *Appl. Nanosci.*, 12 (4), 1071–1083.

6. Mariychuk, R. et al. (2020) Green synthesis of stable nanocolloids of monodisperse silver and gold nanoparticles using natural polyphenols from fruits of *Sambucus nigra* L. *Appl. Nanosci.*, 10, 4545–4558.

УДК [543.54+543.51:547.993]504.064.3:574.064

**Дослідження впливу параметрів водної системи на дисперсно-фазовий розподіл органічних екотоксикантів**

**Максим Горбань, Михайло Мілюкін**

*Інститут колоїдної хімії та хімії води ім. А.В. Думанського НАН України,  
бул. Академіка Вернадського 42, Київ, Україна*

**Вступ.** Хлорорганічні пестициди (ХОП), поліхлоровані біфеніли (ПХБ) та поліциклічні ароматичні вуглеводні (ПАВ) характеризуються надзвичайно високою токсичністю, стійкістю в навколишньому середовищі та біодоступністю для живих організмів. Вони є неполярними обмежено-леткими гідрофобними органічними сполуками. В зв'язку з цим у природних водних системах вони перебувають в таких фізичних формах: в розчинному стані; в зв'язаному стані із суспендованими частинками; в сорбованому та солюбілізованому станах з органічними сполуками природного та антропогенного походження. Фізичні форми органічних ксенобіотиків відрізняються між собою за ступенем біодоступності. Найбільш доступною формою для гідробіонтів є водорозчинна фракція екотоксикантів. Для оцінки екологічної загрози важливо визначити окрім інтегральної концентрації токсиканта у воді його розподіл між різними формами. Результати визначення дисперсно-фазового розподілу ХОП, ПХБ і ПАВ між водною фазою (істинно водорозчинний стан), тонкою фракцією суспендованих частинок (розмір частинок  $> 0,45$  і  $< 16$ – $24$  мкм) та грубою фракцією суспендованих частинок ( $> 16$ – $24$  мкм) у поверхневій воді р. Дніпро свідчать про те, що сполуки даних класів знаходяться переважно у зв'язаному стані із суспендованими частинками. Мета даного дослідження полягала у встановленні та аналізі впливу деяких параметрів водної системи, таких як хімічне споживання кисню (ХСК, окисник –перманганат калію), біологічне споживання кисню (БСК) та сума важких металів (Cr, Ni, Cu, Mn, Zn, Cd, Pb), на дисперсно-фазовий розподіл ХОП, ПХБ і ПАВ у воді.

**Результати.** Проаналізовано результати визначення дисперсно-фазового розподілу органічних екотоксикантів у поверхневій воді 11 водних систем [1]. Для прикладу на рис. 1 наведено залежність середнього значення



водорозчинної частки ХОП, ПХБ та ПАВ від ХСК. Аналогічні закономірності спостерігаються також у випадку залежностей від БСК та суми важких металів. Показано, що загальні водорозчинні частки ХОП, ПХБ та ПАВ зменшуються при зростанні значення ХСК, БСК та суми важких металів. Це можна пояснити тим, що органічні екотоксиканти характеризуються високою спорідненістю до органічних речовин, тому у водних системах вони адсорбуються переважно на суспендованих частинках органічної природи, в тому числі на колоїдних та високомолекулярних частинках. При цьому в утворенні комплексів беруть участь важкі метали. Якщо органічних сполук та важких металів у воді мало, то ХОП, ПХБ та ПАВ немає з чим зв'язатися і вони перебувають переважно у водорозчинному стані.

Встановлено відповідні залежності та проведено їх статистичну обробку. Із 9 кореляцій 4 є значимими, чіткими та достовірними. В цих випадках значення коефіцієнту кореляції ( $r$ ) знаходилося в межах від  $-0,8897$  до  $-0,9374$ , а критерій ймовірності ( $p$ ) не перевищував  $0,05$ . Найбільш чітка та достовірна кореляція встановлена між водорозчинною часткою ПХБ та значенням ХСК ( $r = -0,9374$ ,  $p = 0,0186$ ). Одна кореляція між водорозчинною часткою ПАВ у природній воді та сумарною концентрацією важких металів має також високий коефіцієнт кореляції та критерій ймовірності, що наближається до  $0,05$  ( $r = -0,8567$ ,  $p = 0,0637$ ).

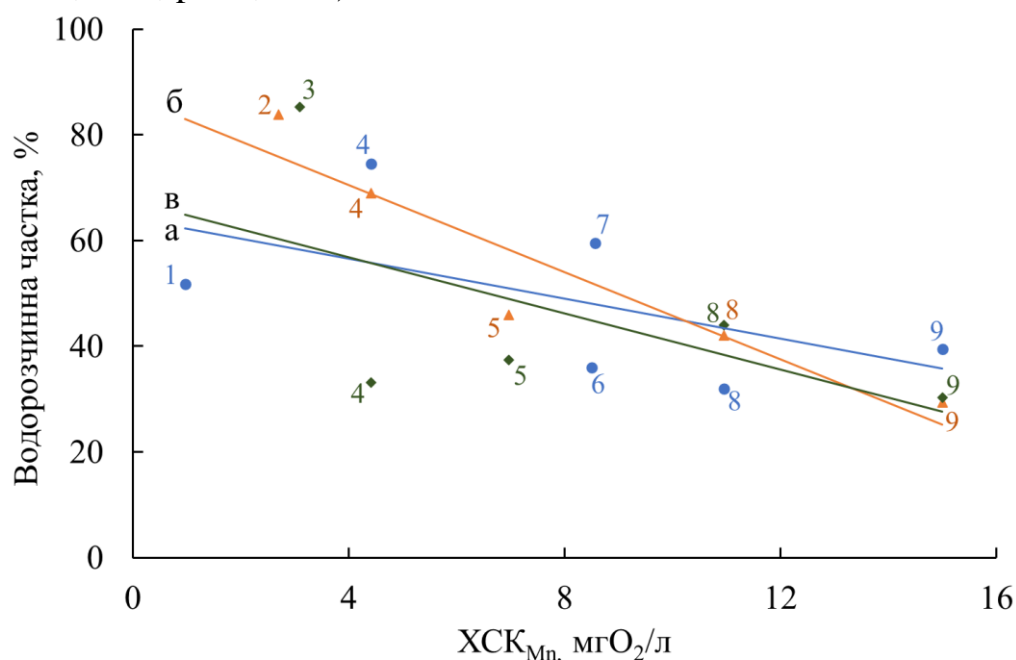


Рис. 1. Залежність середнього значення водорозчинної частки ХОП (а),  $r = -0.5735$ ,  $p = 0.2341$ ; ПХБ (б),  $r = -0.9374$ ,  $p = 0.0186$ ; ПАВ (в),  $r = -0.5745$ ,  $p = 0.3110$ , від ХСК, в природній воді. Водні системи: 1 – затока Сяншань, 2 – дельта р. Янцзи, 3 – дельта р. Дунай, 4 – дельта р. Перлинна, 5 – річки в регіоні Шанхай, 6 – р. Цзіньцзян, 7 – р. Даліао, 8 – р. Дніпро, 9 – р. Ельба

**Висновки.** Високі значення ХСК, БСК та суми важких металів свідчать про низьку водорозчинну частку ХОП, ПХБ та ПАВ. Якщо вода

характеризується низьким вмістом органічних сполук та важких металів, то органічні екотоксиканти перебувають, в основному, у водорозчинному стані. Ці результати можуть бути корисними при розробці ефективних систем водоочистки, а також для оцінки біодоступності органічних токсикантів та екологічної загрози, яку вони можуть створювати.

#### **Перелік джерел інформації**

1. Milyukin M., Gorban M. Investigation of the dispersed-phase distribution of organochlorine pesticides, polychlorinated biphenyls and polycyclic aromatic hydrocarbons in natural water systems. *Chem. Chem. Technol.*, 2023, 17(4), P. 846–856. <https://doi.org/10.23939/chcht17.04>

## **СЕКЦІЯ 2**

# **ІННОВАЦІЙНІ ПІДХОДИ ДО ВИРІШЕННЯ ПРОБЛЕМ ЯКОСТІ ТА БЕЗПЕЧНОСТІ ПИТНОЇ ВОДИ**

**Застосування деревних мембран, модифікованих аеросилом,  
для знефторення води**

**Тетяна Дульнева, Людмила Деремешко**

*Інститут колоїдної хімії та хімії води ім. А.В. Думанського  
НАН України, Київ, Україна*

**Вступ.** Для реалізації баромембранних процесів, як правило, використовують полімерні мембрани. Однак, виробництво більшості комерційно доступних мембран пов'язане з високими витратами, тому останнім часом велика увага приділяється розробці альтернативних мембран з природних матеріалів. З метою зменшення витрат на виготовлення мембран в ІКХХВ ім. А. В. Думанського НАН України вперше в Україні розроблені новітні трубчасті мікрофільтраційні мембрани з природного екологічно чистого та доступного матеріалу – деревини для очищення води від різноманітних забруднень. Мембрани з деревини можна застосовувати для очищення води від механічних і колоїдних домішок, барвників, гідроксидів металів, а також для її знезараження [1,2].

**Матеріали і методи.** Експерименти проводили на дослідній баромембранній установці в проточно-рециркуляційному режимі з використанням розроблених нами мембран, які виготовлені з повітряно-сухої заболоневої деревини (вологість 17 – 18 %).

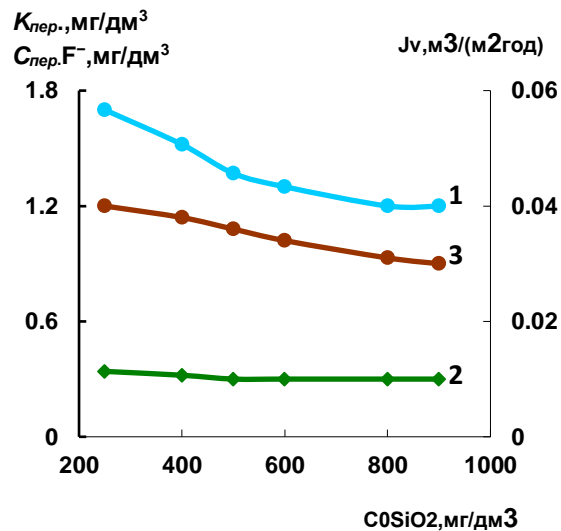
Вибір концентрації іонів  $F^-$  у модельних розчинах відповідав їх вмісту в природних водах. Як добавку-модифікатор в дослідженнях використовували дисперсний гідрофільний аеросил А-300 з величиною питомої поверхні  $300 \text{ м}^2/\text{г}$ . Концентрацію іонів  $F^-$  у вихідному розчині та пермеаті визначали потенціометричним методом [3]. Каламутність розчину вимірювали фотометричним методом за стандартною методикою [4]. За результатами експериментів розраховували питому продуктивність ( $J_v, \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{год})$ ) мембрани [5].

**Результати.** Модифікування деревної мембрани здійснювали формуванням на її зовнішній поверхні додаткового затримувального шару у вигляді динамічної мембрани (ДМ) з аеросилу, який відноситься до сполук кремнію (колоїдний  $\text{SiO}_2$ ), є нешкідливим та проявляє адсорбційну дію до різних речовин.

Встановлено, що мікрофільтраційна деревна мембрана ефективно затримувала частинки  $\text{SiO}_2$  при їх вихідній концентрації  $200 - 900 \text{ мг}/\text{дм}^3$ , рН 6,5 – 6,7, робочому тиску 1,0 МПа та тривалості процесу 2 год. При цьому каламутність пермеату (рис. 1, крива 2) не перевищувала норму її ГДК для питної води ( $0,3 \text{ мг}/\text{дм}^3$ ) [6]. В результаті модифікування трубчастої мембрани відбувалося закупорювання її пор частинками  $\text{SiO}_2$  з подальшим формуванням на поверхні деревини шару з аеросилу у вигляді ДМ. Тривалість модифікування обмежувалася досягненням мембраною стаціонарної питомої продуктивності.

На рис. 1, крива 1 показано, що в процесі знефторення розчину модифікованою деревною мембраною зі збільшенням у модифікуючому

(мембраноформуєчому) розчині вихідної концентрації  $\text{SiO}_2$  різко знижувалася концентрація іонів  $\text{F}^-$  у пермеаті. В подальшому цей процес уповільнювався, а в межах  $C_0$  аеросилу 500 – 900  $\text{мг/дм}^3$  концентрація  $\text{F}^-$  у пермеаті набувала практично постійного значення та відповідала нормативним значенням його ГДК у питній воді (0,7–1,5  $\text{мг/дм}^3$ ) [6] при вихідній концентрації  $\text{SiO}_2 > 400 \text{ мг/дм}^3$  у модифікуючому розчині. При цьому питома продуктивність мембрани (крива 3) знижувалася дещо повільніше – з 0,04 до 0,03  $\text{м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{год})$ .



$C_0 \text{F}^- - 4,9 \text{ мг/дм}^3$ ; рН – 6,7; Р – 1,0; МПа;  $\tau - 120 \text{ хв}$

Рис. 1. Залежність концентрації  $\text{F}^-$  у пермеаті ( $C_{\text{пер.}}$ ) (1), його каламутності ( $K_{\text{пер.}}$ ) (2) і питомої продуктивності ( $J_v$ ) деревної мембрани (3) від вихідної концентрації аеросилу ( $C_0$ )  $\text{SiO}_2$  у модифікуючому розчині

Отримані залежності можна пояснити формуванням на поверхні деревної мембрани додаткового затримувального шару у вигляді ДМ із частинок  $\text{SiO}_2$ , яка і затримувала іони  $\text{F}^-$  завдяки електростатичному механізму їх взаємодії. Відомо [7], що частинки  $\text{SiO}_2$  мають негативний заряд поверхні, тому сформована з них ДМ відштовхувала одноіменно заряджені аніони  $\text{F}^-$ . При цьому суттєву роль для реалізації затримувальної здатності ДМ мав розмір її пор. Отже, для подальшого дослідження характеристик процесу знефторення розчинів ДМ формували при концентрації аеросилу у модифікуючому розчині  $\text{SiO}_2 - 500 \text{ мг/дм}^3$ , рН 6,7 та 1,0 МПа. Слід відмітити, що дослідження проведено без додавання до розчину мембранопідтримуючої добавки.

Для підтримки постійного функціонування ДМ після її формування необхідно до вихідного розчину  $\text{NaF}$ , що підлягає очищенню, постійно додавати мембранопідтримуючу добавку аеросилу, у якій концентрація  $\text{SiO}_2$  може бути у декілька разів нижчою, ніж його концентрація у модифікуючому розчині. Динамічно оновлений активний шар ДМ забезпечує ефективність і тривалість її роботи.

З метою визначення необхідної концентрації мембранопідтримуючої добавки після формування ДМ до розчину, який знефторювали за вихідної

концентрації  $F^-$  4,9 мг/дм<sup>3</sup>, додавали добавку з концентрацією  $SiO_2$  25, 50 та 100 мг/дм<sup>3</sup>.

Встановлено, що за допомогою модифікованої деревної мембрани впродовж 180 хв обробки нормативні значення ГДК фтору у питній воді можна досягти при концентрації  $SiO_2$  у мембранопідтримуючій добавці 50 – 100 мг/дм<sup>3</sup>. При цьому питома продуктивність зазначеної мембрани була нижчою – на рівні 0,026 – 0,02 м<sup>3</sup>/(м<sup>2</sup>·год), що можна пояснити суттєвим закупорюванням пор мембрани аеросилом. Слід також зазначити, що тільки при концентрації мембранопідтримуючої добавки 100 мг/дм<sup>3</sup> концентрація  $F^-$  у пермеаті була нижчою за верхню межу норми ГДК  $F^-$  у питній воді.

**Висновки.** Показана висока ефективність знефторення води деревною мембраною, модифікованою аеросилом, завдяки електростатичній взаємодії частинок  $SiO_2$  з іонами  $F^-$ . Визначені умови її формування: концентрація модифікуючої та мембранопідтримуючої добавок аеросилу становила відповідно 500 та 100 мг/дм<sup>3</sup>, тривалість формування динамічної мембрани 100–120 хв. Модифікована мембрана може знефторювати воду до норми ГДК іонів  $F^-$  у питній воді з їх вихідною концентрацією до 7,5 мг/дм<sup>3</sup> при робочому тиску 1,0 МПа.

#### **Перелік джерел інформації**

1. Liu M, Lu Q, Yu W. The improvement of heavy metals removal by wood membrane in drinking water treatment: Comparison with polymer membrane and associated mechanism. *Chemosphere*. 2023. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/36893869/>.

2. Dulneva T.Y., Deremeshko L.A., Ievleva O.S. Current state and prospects of using lignocellulose (wood) membranes for water purification. *J. Water Chem. Technol.* 2022. 44, N 6. P. 488–493.

3. Величко В.В., Великонська Н.М., Перескока В.В. Аналітичний контроль. Дніпропетровськ: НМетАУ, 2013. 123 с.

4. Перлова О.В., Перлова Н.О. Органолептичні показники якості води. Одеса: ОНУ, 2019. 42 с.

5. Baker R.W. *Membrane Technology and Applications*. New York: Willey, 2012. 575 p.

6. ДСТУ 7525: 2014. Вода питна. Вимоги та методи контролювання якості. Київ: Мінекономрозвитку України, 2014. 26 с.

7. Курта С. А., Сулим І.Я. Будова та модифікація поверхні кремнезем вмісних сполук. Івано-Франківськ: Прикарпатський національний університет. 2021. 400 с.

**Silica-supported fluorescent sensor for doxycycline with enhanced sensitivity utilizing rare earth metal ions**Olha Semeshko<sup>1,2</sup>, Inna Melnyk<sup>1</sup><sup>1</sup>*Institute of Geotechnics SAS, Košice, Slovak Republic*<sup>2</sup>*Kherson National Technical University, Khmelnytskyi, Ukraine*

**Introduction.** Contamination of aquatic ecosystems by pharmaceutical residues, particularly antibiotics, is a global concern that threatens not only human health but also ecosystem resilience. The tetracycline antibiotic doxycycline, widely used in recent years for the treatment of COVID-19, has been reported to be present in the environment, with significant amounts entering from hospitals and private households [1]. This results in antibiotic residues in food products such as meat, eggs, and milk, potentially causing severe side effects in hypersensitive individuals [2, 3]. Furthermore, tetracyclines are characterized by a complex, stable conjugated benzene ring structure, which is resistant to degradation in natural environments [4]. Thus, developing methods for detecting doxycycline in water is of great importance.

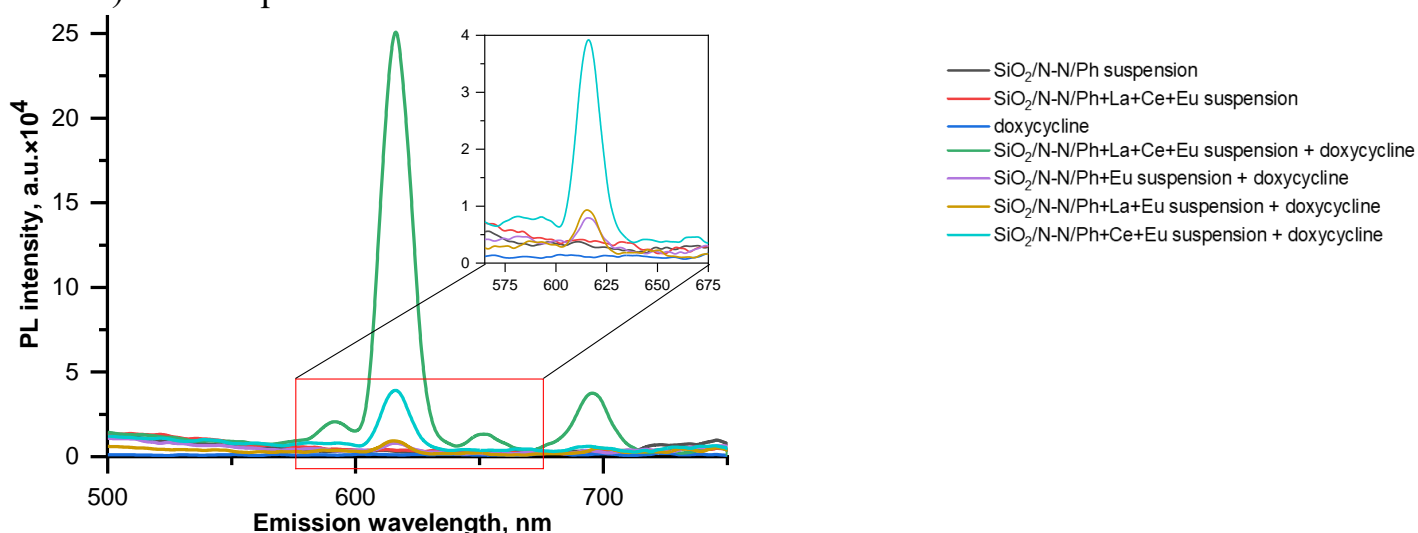
One of the most promising methods for antibiotic detection is fluorescence-based sensing using lanthanide-based sensors due to their simplicity, speed, high sensitivity, and cost-effectiveness [5]. Europium, terbium, and samarium are widely used among lanthanides, as they exhibit narrow emission bands and large Stokes shifts, ensuring the accuracy and quality of fluorescence measurements. It is known that tetracycline antibiotics have a strong affinity for europium ions, forming complexes in which tetracyclines transfer absorbed energy to europium ions via the "antenna effect," thereby enhancing fluorescence [6-8]. Based on this, europium has been selected for the development of a sensor to detect doxycycline.

Highly efficient fluorescent sensors often consist of rare-earth ions combined with various nanomaterials, such as carbon quantum dots [9], silica nanoparticles [7], and metal-organic frameworks [10]. Silica-containing nanoparticles, as a class of photoluminescent nanomaterials, are increasingly used due to their exceptional optical properties, biocompatibility, cost-effectiveness, and ease of synthesis. It has been demonstrated that incorporating luminescent lanthanide complexes into mesoporous matrices can enhance fluorescence intensity by preventing quenching from -OH and -NH<sub>2</sub> groups [11, 12]. Another important characteristic of silica nanoparticles is their ability to be surface-functionalized, allowing the attachment of ligands aimed at specific metal cations or pollutants. Amine groups, for instance, are excellent candidates for adsorbing lanthanide ions [13-15]. In this study, a silica-based adsorbent with surface amine groups is synthesized for targeted europium ion adsorption from solutions, with the adsorbent then being used as a sensor for doxycycline detection. Additionally, it is hypothesized that rare-earth ions such as lanthanum and cerium, present in spent Ni-MH batteries, could enhance the fluorescent properties of europium-doped silica material, thereby improving the sensitivity and selectivity of the sensor for doxycycline. This approach represents the novelty of the present research. The use of recycled metals is an environmentally friendly approach, not only reducing material costs but also contributing to solving hazardous waste disposal problems.

This study aims to develop an efficient, eco-friendly sensor for monitoring doxycycline in aquatic environments, based on a silica-based adsorbent with europium ions. To enhance the sensor's signal and increase its sensitivity for detecting antibiotics, cerium and lanthanum ions from spent batteries were also adsorbed.

**Results.** We developed a bifunctional adsorbent, designated as **SiO<sub>2</sub>/N-N/Ph**, based on silica nanoparticles modified with silanes containing diamine and phenyl groups. Using analytical techniques such as SEM, EDXS, CNHS, IR, nitrogen adsorption-desorption, and zeta potential measurement via electrophoretic light scattering, we confirmed that the functionalized silica particles have an average size of 50–60 nm, exhibit a non-porous structure ( $S_{sp} = 67 \text{ m}^2/\text{g}$ ) yet possess a high adsorption volume ( $V_{total} = 0.513 \text{ cm}^3/\text{g}$ ) due to the uniform packing of particles. The particles contain amino groups (1.24 mmol/g based on elemental analysis) and phenyl groups on their surface, and show a positive  $\zeta$ -potential across the pH range of 2–10, with an isoelectric point at pH 10.4. This characteristic suggests high adsorption potential for rare-earth ions.

The adsorption properties of the **SiO<sub>2</sub>/N-N/Ph** sample for La(III), Ce(III), and Eu(III) were investigated in individual solutions, with results fitting the Langmuir adsorption model, indicating monolayer formation and chemisorption. Adsorbent saturation was observed at an initial concentration of 2 mmol/L. When rare-earth metals were adsorbed from binary and ternary mixtures, the total static sorption capacity for ions from binary mixtures was 0.72–0.74 mmol/g, whereas with all three ions present, the capacity decreased to 0.66 mmol/g. In individual solutions, the adsorption sequence for lanthanoid ions was Eu(III) < Ce(III) < La(III). However, in binary and ternary systems, the sequence shifted to La(III) < Ce(III) < Eu(III), which can be explained by the relative cation sizes (107 pm for Eu<sup>3+</sup> < 114 pm for Ce<sup>3+</sup> < and 116 pm for La<sup>3+</sup>) and competitive behavior in solution.



**Figure 1. Photoluminescence spectra of silica nanoparticle suspensions SiO<sub>2</sub>/N-N/Ph with various lanthanide combinations (suspension concentration 0.1 g/L in 0.1 M KCl, doxycycline concentration 10  $\mu\text{M}$ )**

The presence of lanthanoid ions on the sample surface after adsorption was verified using EDXS analysis, IR spectroscopy, and XPS. Considering the solution



pH of 6.5 during adsorption, at which lanthanoids remain ionic, it is concluded that lanthanoids are adsorbed in their trivalent ionic form through complexation with the amino groups of the adsorbent.

Following lanthanoids adsorption, photoluminescence spectra of the samples in suspension with doxycycline were recorded (Figure 1). Spectra were also recorded for doxycycline alone, as well as for the initial **SiO<sub>2</sub>/N-N/Ph** sample and the lanthanoid-loaded sample **SiO<sub>2</sub>/N-N/Ph-Ln-Ce-Eu** without doxycycline. These spectra were acquired with an excitation wavelength of  $\lambda_{\text{ex}} = 396$  nm, suitable for Eu(III) ions. Notably, La(III) exhibited no photoluminescence due to the absence of f-f transitions. Additionally, no enhancement in photoluminescence was observed at the typical excitation wavelength for cerium ions,  $\lambda_{\text{ex}} = 264$  nm.

At an excitation wavelength of  $\lambda_{\text{ex}} = 396$  nm, characteristic of Eu(III) ions, neither doxycycline, nor the suspensions of the initial sample **SiO<sub>2</sub>/N-N/Ph**, nor the sample with adsorbed lanthanoids without doxycycline (**SiO<sub>2</sub>/N-N/Ph-Ln-Ce-Eu**) exhibited inherent fluorescence. Analysing the photoluminescence spectra of samples containing various combinations of lanthanoids in the presence of doxycycline led to the following conclusions. For the suspension of **SiO<sub>2</sub>/N-N/Ph-Ln-Ce-Eu**, containing all three adsorbed lanthanoids, narrow, intense bands were observed, with maximum photoluminescence intensity reaching 250562 arbitrary units at an emission wavelength of  $\lambda_{\text{em}} = 616$  nm. The lowest photoluminescence intensity occurred in the system with Eu(III) ions only, where the addition of La had a minimal effect, and Ce(III) only slightly increased the intensity. This indicates that the combination of all three ions on the silica matrix significantly enhances system sensitization in the presence of doxycycline, establishing **SiO<sub>2</sub>/N-N/Ph-Ln-Ce-Eu** as an effective sensor for doxycycline detection.

The high fluorescence intensity of this sensor results from the "antenna effect": doxycycline binds with metal ions, absorbing light energy and boosting the photoluminescence efficiency of Eu(III) ions. In this system, La(III) and Ce(III), which do not exhibit intrinsic luminescence, act as energy donors in the silica matrix, likely serving as enhancing chelates that demonstrate co-luminescence. Excitation energy absorbed by the La(III)-silica complex accumulates and transfers to neighbouring Eu(III), Ce(III) ions, or doxycycline. Additionally, Ce(III) sensitization is facilitated by the silica matrix, similar to La(III) ions. Furthermore, the phenyl groups on the synthesized functionalized silica nanoparticles enhance photoluminescence due to their  $\pi$ -conjugated ring structures. The amino and phenyl functional groups work synergistically as lanthanoid ion carriers and photo-harvesters, selectively enhancing the sensitization of La(III) and Ce(III) ions.

An indicator of the system's photoluminescence efficiency – and thus its optimal design for sensor applications – is the quantum yield. For **SiO<sub>2</sub>/N-N/Ph-Eu** and **SiO<sub>2</sub>/N-N/Ph-Ln-Ce-Eu** suspensions in the presence of doxycycline, the quantum yields were measured as 40.3% and 82.4%, respectively, indicating that the **SiO<sub>2</sub>/N-N/Ph-Ln-Ce-Eu** sensor provides more intense Eu<sup>3+</sup> ion emission due to high energy transfer efficiency and complex stability.

The study determined optimal conditions for maximizing photoluminescence intensity in a suspension-based sensor for doxycycline detection. This included set-

ting the pH to 8–9 (the natural pH of the suspension), achieving ionic strength with 0.05 M KCl, limiting contact time to 3 hours, and using a suspension concentration of 0.1 g/L. Under these conditions, the sensor exhibited a linear photoluminescence response to doxycycline concentrations ranging from 0.005 to 10.0  $\mu\text{M}$ , with an impressive correlation coefficient ( $R^2 = 0.9993$ ). The detection limit was found to be 0.15  $\mu\text{M/L}$  (0.07 mg/L), and the quantification limit was 0.44  $\mu\text{M/L}$  (0.2 mg/L), highlighting the suspension's high sensitivity for doxycycline in water. Selectivity tests, conducted in the presence of common substances and ions found in hospital wastewater, confirmed the sensor's selective affinity for doxycycline, underscoring its potential as a targeted, effective tool for monitoring this antibiotic in environmental and clinical settings.

**Conclusion.** An efficient and eco-friendly sensor has been developed for monitoring trace doxycycline concentrations in aqueous environments, based on a silica-containing adsorbent functionalized with europium, lanthanum, and cerium ions. The lanthanides adsorbed onto the silica matrix show high sensitivity in the photoluminescent detection of doxycycline at 616 nm under 396 nm excitation. This detection occurs due to Eu(III)'s luminescent response to doxycycline via the "antenna effect," where excitation energy is transferred intermolecularly from La(III) to nearby Eu(III) ions and electron transfer occurs between Ce(III) and Eu(III). Furthermore, the synthesized silica with diamino and phenyl groups serves as a matrix for lanthanide mobilization, preventing Eu(III) luminescence quenching and potentially enhancing photoluminescence through the  $\pi$ -conjugation of phenyl groups. The resulting sensor system of La, Ce, and Eu ions adsorbed on a silica matrix is marked by high stability, sensitivity, and selectivity for doxycycline detection in aqueous solutions, presenting a promising tool for environmental monitoring.

**Acknowledgment.** The research was funded by the EU NextGenerationEU through the Recovery and Resilience Plan for Slovakia under the projects 09I03-03-V01-00098, 09I03-03-V04-00708, and carried out within the VEGA 2/0138/24.

## References

1. A. Becze, M.-A. Resz, A. Ilea, O. A Cadar. *Appl. Sci.* **2022**, 12, 9789.
2. J. Chen, et al. *Journal of Environmental Chemical Engineering* **2023**, 11 (3), 109849.
3. L. Yu, H. Chen, et al. *Talanta* **2020**, 207, 120297.
4. Q.L. Yang, et al. *Bioengineered* **2021**, 12 (1), 7376-7416
5. X. Zhou, T.L. Wang, et al. *Sens. Actuators B Chem.* **2021**, 343, 130107.
6. X. Xu, H. Min, Y. Li. *Analytical Methods* **2023**, 43.
7. R. Gao, Q. Qiu, W. Dong. *ACS Applied Nano Materials* **2022**, 5 (4).
8. B. Lin, T. Zhang, X. Xin et al. *Microchim Acta* **2019**, 186, 442.
9. L. Zhu, Q. Wu, X. Mei. et al. *Adv Compos Hybrid Mater* **2023**, 6, 221.
10. D. Yang, S. Mei, Z. Wen et al. *Microchim Acta* **2020**, 187, 666.
11. W. Jingyuan, et al. *Industrial & Engineering Chemistry Research* **2020**, 59.
12. B. S. Swain, B.P. Swain, Swain N.-M. Hwang. *Journal of Applied Physics* **2010**, 108, 073709.
13. M. Lakić, et al. *Separation and Purification Technology* **2023**, 323, 124487.

14. S. D. Karande, et al. *Nanotechnology for Environmental Engineering* **2021**, 6, 29.
15. W. C. Wilfong, et al. *ACS Applied Materials & Interfaces* **2017**, 9 (21), 18283-18294.

УДК 628.1.

**Research on the use of ferrites  $m\text{Fe}_2\text{O}_4$  ( $m = \text{Ni}, \text{Mn}, \text{Zn}$ ) for the photocatalytic decomposition of methylene blue in water**

**Frolova L., Olkhov K., Zavoloka M., Rodin D., Nikitin M.**

*Ukrainian State University of Science and Technology*

**Introduction.** In recent years, more and more attention has been paid to the development and use of materials for the catalytic destruction of organic substances [1]. Today, photocatalysis technologies are considered promising ecological technologies for water purification, as they are highly efficient and economically beneficial [2]. The use of magnetic materials enables easy separation of materials from solutions and is an effective, inexpensive method for the separation of heterogeneous solution/nanoparticle catalytic systems, which has attracted the attention of researchers. In particular, ferrite nanomaterials additionally have such advantages as easy separation under the influence of a magnetic field, the possibility of processing and reuse, availability, low cost [3]. Spinel structures containing several cations have not been sufficiently studied. It is the synthesis of composite ferrites that leads to the improvement of their physical properties. For example, nickel ferrite is a well-known material with moderate coercivity and high saturation magnetization. Manganese ferrite has a low coercive force, moderate saturation magnetization combined with good chemical resistance, high mechanical hardness [4]. These properties, together with high physical and chemical resistance, determine their wide use. The distribution of  $\text{Ni}^{2+}$ ,  $\text{Mn}^{2+}$  and  $\text{Zn}^{2+}$  cations in sites A and B of the crystal lattices significantly affects magnetic and optical parameters [5].

**Methodology of the experiment.** The study of the process of catalytic decomposition of methylene blue (MB) was carried out in a glass vessel at  $25^\circ\text{C}$  with constant shaking. Before adding the catalyst, the maximum absorption of the model solution was measured using a UV spectrophotometer in the range of 200-900 nm. The change in the initial optical density was monitored by taking an aliquot of the solution at regular intervals and subjecting it to spectroscopic analysis. The concentration of MB was determined spectrophotometrically using a UV 5800 PC spectrometer. To study the influence of the cation composition on the properties of ferrites, a simplex-lattice design was used, which requires a minimum number of experiments to study the influence of factors on the selected response functions. Molar concentrations of nickel, manganese and zinc were chosen as factors  $x_1$ ,  $x_2$ ,  $x_3$ , respectively.

**Results.** Studies of the photocatalytic activity of ferrites showed that the degree of MB decomposition in the presence of ferrite photocatalysts was 90-96% within 60 minutes after UV irradiation. The UV-Vis spectrum of MB contains 4 absorption

peaks at 665 nm, 615 nm, 295 nm and 246 nm. A significant peak at 664 nm was in the visible part of the electromagnetic spectrum with a shoulder at 615 nm, and two other peaks are observed in the UV region. It was established that the photocatalytic activity of ferrites increases with an increase in the number of nickel ions. MB degradation increases from 44% for  $\text{MnFe}_2\text{O}_4$  to 96% for  $\text{Ni}_{0.33}\text{Mn}_{0.66}\text{Fe}_2\text{O}_4$  and  $\text{Ni}_{0.33}\text{Zn}_{0.66}\text{Fe}_2\text{O}_4$  after 60-minute exposure to UV light. The results of reactivity of individual ferrites are significantly lower than double and triple compositions.

**Conclusion.** For use as photocatalysts, ferrites  $\text{MFe}_2\text{O}_4$  ( $\text{M} = \text{Ni}, \text{Mn}, \text{Zn}$ ) were synthesized by the combined method of coprecipitation and subsequent plasma treatment. The regularities of changes in the properties of ferrites were studied by the simplex-lattice method of planning the experiment. The most effective catalysts were nickel-containing ferrites. The synthesized samples containing nickel and manganese have high magnetic properties, which ensures easy separation from the aqueous solution under the action of an external magnetic field.

### References

1. Lanjwani, M. F., Tuzen, M., Khuhawar, M. Y., Saleh, T. A. (2024). Trends in photocatalytic degradation of organic dye pollutants using nanoparticles: a review. *Inorganic Chemistry Communications*, 159, 111613.
2. Pandis, P. K., Kalogirou, C., Kanellou, E., Vaitsis, C., Savvidou, M. G., Sourkouni, G. Argirusis, C. (2022). Key points of advanced oxidation processes (AOPs) for wastewater, organic pollutants and pharmaceutical waste treatment: A mini review. *ChemEngineering*, 6(1), 8.
3. Jarusheh, H. S., Yusuf, A., Banat, F., Haija, M. A., Palmisano, G. (2022). Integrated photocatalytic technologies in water treatment using ferrites nanoparticles. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 10(5), 108204.
4. Dippong, T., Toloman, D., Dan, M., Levei, E. A., Cadar, O. (2022). Structural, morphological and photocatalytic properties of Ni-Mn ferrites: Influence of the Ni: Mn ratio. *Journal of Alloys and Compounds*, 913, 165129.
5. Ortiz-Quiñonez, J. L., Das, S., Pal, U. (2022). Catalytic and pseudocapacitive energy storage performance of metal (Co, Ni, Cu and Mn) ferrite nanostructures and nanocomposites. *Progress in Materials Science*, 130, 100995.

УДК 556.531[630.8+66.081.6]

### Очищення дніпровської води мікрофільтраційними мембранами з деревини

Людмила Мельник, Тетяна Дульнева, Людмила Деремешко

Інститут колоїдної хімії та хімії води ім. А.В. Думанського

НАН України, Київ, Україна

**Вступ.** В останні роки здійснюються дослідження з визначення перспектив використання в процесах очистки та знезараження води мембран на основі природної відновлюваної сировини – деревини як ефективної альтернативи існуючим традиційним матеріалам для отримання мембран [1,2]. За наявними оцінками, вартість побутового фільтру очистки води із деревини

може бути в 10 разів нижчою вартості сучасних комерційних фільтруючих пристроїв. Слід відмітити, що на сьогодні в світовій практиці використання зазначених мембран для процесів водоочищення та водопідготовки знаходиться на початковому етапі.

**Матеріали і методи.** Для досліджень застосовували розроблені в ІКХХВ ім. А.В. Думанського НАН України трубчасті мікрофільтраційні мембрани, виготовлені з повітряно-сухої заболоневої деревини. Волокна деревної мембрани були спрямовані перпендикулярно до осі фільтрування, яке проводили з боку зовнішньої поверхні трубчастої мембрани.

З метою надання деревині бактерицидного ефекту мембрани заздалегідь витримували у розчині  $\text{AgNO}_3$  протягом 10 діб, після чого промивали під тиском дистильованою водою близько години, що також сприяло вимиванню із мембран природних органічних сполук, які можуть впливати на якість води.

Дослідження здійснювали з використанням води р. Дніпро (водозабір Дніпровської водопровідної станції). Для експериментів застосовували дослідну баромембранну установку, яка працювала в проточно-рециркуляційному режимі.

Загальний вміст феруму ( $\text{Fe}_{\text{заг.}}$ ) у воді визначали методом колориметрії з сульфосаліциловою кислотою [3], вміст Mn – атомно-абсорбційним методом [4]. Каламутність води вимірювали фотометричним методом за стандартною методикою [5]. Питому продуктивність ( $J_v$ ,  $\text{м}^3/\text{м}^2\cdot\text{год}$ ) мембрани розраховували згідно [6]:

**Результати.** В табл. наведено результати очищення води р. Дніпро мікрофільтраційною деревною мембраною в залежності від тривалості обробки ( $\tau$ ) при робочому тиску 0,2 МПа.

Як видно з табл., в процесі фільтрування каламутність пермеату різко знижується вже протягом перших 2-х годин, досягаючи практично постійного значення, яке є нижчим від нормативних значень цього показника для питної води [7]. Паралельно зі зниженням каламутності протягом двох годин від початку фільтрування води спостерігається також зменшення в пермеаті концентрації заліза до  $0,1 \text{ мг}/\text{дм}^3$ , що є нижчим ніж гранично допустима концентрація (ГДК) цього компонента у питній воді ( $0,2 \text{ мг}/\text{дм}^3$ ) [7]. Концентрація мангану в пермеаті за вказаний період поступово знижалась протягом подальшої обробки (до  $0,21 \text{ мг}/\text{дм}^3$ ). При цьому питома продуктивність мембрани в процесі фільтрування різке падала протягом першої години обробки (з  $0,62$  до  $0,25 \text{ м}^3/\text{м}^2\cdot\text{год}$ ) та в подальшому повільно зменшувалася, що пов'язано з формуванням на поверхні трубки з деревини динамічної мембрани із завислих речовин та малорозчинних сполук заліза і мангану.

Таблиця. – Результати очищення води р. Дніпро мікрофільтраційними деревними мембранами

τ, год	Каламутність, мг/дм <sup>3</sup>		Mn, мг/дм <sup>3</sup>		Fe <sub>заг.</sub> , мг/дм <sup>3</sup>		J <sub>v</sub> , м <sup>3</sup> /(м <sup>2</sup> ·год)	
	1	2	1	2	1	2	1	2
0,017	0,85	0,85	0,28	0,28	0,22	0,22	0,62	1,82
1,0	0,41	0,3	0,24	0,21	0,12	0,12	0,25	0,76
2,0	0,3	0,3	0,24	0,20	<0,1	<0,1	0,23	0,71
3,0	0,3	0,3	0,24	0,14	<0,1	<0,1	0,22	0,70
4,0	0,3	0,3	0,24	0,14	<0,1	<0,1	0,21	0,66
5,0	0,3	0,3	0,24	0,14	<0,1	<0,1	0,21	0,63
6,0	0,3	0,3	0,22	0,14	<0,1	<0,1	0,20	0,61
7,0	0,3	0,3	0,22	0,13	<0,1	<0,1	0,20	0,60
8,0	<0,3	<0,3	0,21	0,13	<0,1	<0,1	0,19	0,59
10,0	<0,3	<0,3	0,21	0,13	<0,1	<0,1	0,19	0,59

Примітка: C<sub>0</sub>Al(III) – 1,18 мг/дм<sup>3</sup>; P – 0,2 МПа. 1 і 2 – процес здійснювався, відповідно, без коагулянту (рН 7,8) і з додаванням сульфату алюмінію (рН 7,4)

Одержані результати свідчать про те, що вода р. Дніпро містить певну кількість малорозчинних форм заліза та мангану, які ефективно затримуються мікрофільтраційною мембраною. Недостатній ступінь очищення води р. Дніпро від сполук мангану (ГДК<sub>0,05</sub> мг/дм<sup>3</sup>) пов'язаний, вірогідно, з порівняно низькою концентрацією у воді сполук Fe(III), яка є недостатньою для формування ефективної динамічної мембрани, здатної забезпечити каталітичне окиснення розчинних сполук Mn(II) до малорозчинних форм з подальшою їх затримкою в процесі мікрофільтрації. Можна припустити, що вища концентрація сполук заліза у воді (що може спостерігатися протягом року) сприятиме більш глибокому видаленню сполук Mn в процесі обробки мікрофільтраційною деревною мембраною.

Дослідження впливу невисоких концентрацій коагулянту на процес очищення дніпровської води деревними мембранами здійснювали шляхом додавання у вихідну воду 7,5 мг/дм<sup>3</sup> Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>. та за умов, аналогічних дослідженню при його відсутності (табл.).

Встановлено, що додавання Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub> не впливає на результати очищення річкової води від завислих речовин та сполук заліза. У той же час концентрація мангану в пермеаті поступово зменшується протягом всієї тривалості експерименту (з 0,28 до 0,13 мг/дм<sup>3</sup>), що свідчить про суттєву роль динамічної мембрани у видаленні сполук вказаного елемента з води. В присутності Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub> зберігається також характер зміни питомої продуктивності мембрани.

Однак, при обробці дніпровської води з додаванням Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub> питома продуктивність деревної мембрани у ~ 3 рази перевищує аналогічну характеристику для випадку обробки у відсутності коагулянту. Очевидно, за зазначених умов не спостерігалось закупорювання дрібних пор мембрани, що

обумовлено утворенням порівняно великих часточок гідроксосполук Al(III). При цьому відбувалося також формування динамічної мембрани із більшим розміром пор, ніж у випадку відсутності коагулянту.

Таким чином, одержані нами результати підтверджують наявні в літературі дані щодо перспективності використання гібридного (коагуляція/мікрофільтрація) процесу з метою зменшення забруднення мембран та попередження падіння трансмембранного потоку (підвищення робочого тиску) в процесі мікрофільтраційної очистки води.

**Висновки.** Показана можливість ефективної очистки річкової води шляхом її фільтрування через деревну мембрану, що обумовлено стеричним механізмом затримки домішок мембраною з одночасним формуванням на поверхні останньої додаткового затримувального шару у вигляді динамічної мембрани із завислих речовин, гідроксосполук заліза та малорозчинних сполук мангану. Підтверджено перспективність використання гібридного (коагуляція/мікрофільтрація) процесу з метою зменшення забруднення деревних мембран та попередження падіння трансмембранного потоку.

#### **Перелік джерел інформації**

1. Zhao F., Lu Q., Yu W., Liu M. Gravity-driven filtration system based on wood membrane coupled with polymer membrane strengthening heavy metal removal from source water: insight of performance and mechanism. *Chinese Journal of Environmental Engineering*. 2023, V. 17, N3. P. 806–816.

2. Дульнева Т.Ю. Деманганация воды деревной мембраной. *Биоресурси і природокористування*. 2019. Т. 11, № 3–4. С. 84–89. <http://journals.nubip.edu.ua/index.php/Bio/article/view/bio2019.03.009/11342>.

3. Новиков Ю.В., Ласточкина К.О., Болдина В.Н. Методы исследования качества воды водоемов. М.: Медицина, 1990. 400 с.

4. Алемасова А.С., Рокун А.Н., Шевчук И.А. Аналитическая атомно-абсорбционная спектроскопия. Донецк, 2003. 327 с.

5. Перлова О.В., Перлова Н.О. Органолептичні показники якості води. Одеса: ОНУ, 2019. 42 с.

6. Baker R.W. *Membrane Technology and Applications*. New York: Wiley, 2012. 575 p.

7. ДСТУ 7525: 2014. Вода питна. Вимоги та методи контролювання якості. Київ: Мінекономрозвитку України, 2014. 26 с.

UDC 543:546.137

#### **Tuning selectivity for perchlorate determination in water and soil extracts**

**Yuliya Mazna, Oleg Zuy**

*A.V. Dumansky Institute of Colloid Chemistry and Water Chemistry  
of NAS of Ukraine, Kyiv, Ukraine*

**Introduction.** The detection, identification and quantification of perchlorate in water and soil is of great importance because this anion can cause problems for hu-

man health and persists for a long time in the environment. It has been proven that perchlorate anion ( $\text{ClO}_4^-$ ) interferes with the work of the thyroid gland, especially in children. In Ukraine, the content of perchlorate in drinking water is regulated at the level of  $0.01 \text{ mg/dm}^3$  according to Ukrainian State Standard (DSTU) 7525:2014. Perchlorate has been found at concentrations of  $0.18 \text{ }\mu\text{M}$  or higher in lakes, rivers, springs, and soils in different countries. In Ukraine, the sources of perchlorate entering natural waters and soils are explosive works and military activities. Due to the fact that perchlorate ions are inert and do not form stable complexes with metals, it is not easy to determine them quantitatively. Perchlorate ions may form ion associates with basic organic dyes, as well as with cationic surfactants and metal chelates – with components that have large dimensions. Reaction products are sparingly soluble in water, often soluble in organic solvents. Therefore it is obvious to use ion associates for quantitative perchlorate determination. However many water constituents may interfere with the determination and need to be separated.

**Materials and methods.** Membrane nitrocellulose filters with pore size of  $0.45 \text{ }\mu\text{m}$  were used throughout, solid phase extraction (SPE) cartridges Strata SDB-L (Phenomenex), sorbents Accu Bond C18 (Agilent Technologies), Supelclean ENVI-Chrom P (Supelco) and cationic surfactants – tetrabutylammonium chloride, cetyltrimethylammonium bromide, decyl- and dodecyltrimethylammonium bromide, sodium dodecylsulfate (Fluka), acetone (Reagent Grade), Copper (II) sulfate, hydroxylamine sulfate, acetate buffer  $0.2 \text{ M}$  as to acetic acid and to sodium acetate, cuproin, chloroform (Reagent Grade), luminol (Reagent Grade), KOH of special purity. The work was carried out with portable luminometer Triathler (Finland), diffuse reflection photometer PocketSpec (USA). Diffuse reflection spectra were registered with Shimadzu UV-2450 spectrophotometer (Japan).

**Results.** When using the ion associates Co(II)-phenanthroline-perchlorate, Co(II)-bathophenanthroline-perchlorate, Fe(II)-phenanthroline-perchlorate, Fe(II)-bathophenanthroline-perchlorate, the maximum sensitivity of  $\text{ClO}_4^-$  determination is achieved only in the case of using toxic nitrobenzene as an organic solvent. When using the Cu(I)-cuproine-perchlorate ion associate, twice the sensitivity of  $\text{ClO}_4^-$  determination can be achieved by recording the diffuse reflection spectra of the concentrate on a sorbent – a membrane filter using  $\text{CHCl}_3$  as an organic solvent. However, the reaction of Cu(I) cuproinate with  $\text{ClO}_4^-$  is not selective – determination of perchlorate is hindered by  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{CNS}^-$ ,  $\text{Br}^-$ ,  $\text{I}^-$ . In this regard, an attempt was made to use the preconcentration of  $\text{ClO}_4^-$  from the aqueous medium in the form of an ion associate with a perchlorate-selective cationic surfactant – decyltrimethylammonium, and then to apply sequential elution from the sorbent to separate interfering species. Separation of  $\text{ClO}_4^-$  from interfering ions with its simultaneous preconcentration can be achieved by choosing a sorbent and modifying the latter with an ion-pair reagent selective for perchlorate, as well as by varying the elution conditions. Control of the completeness of  $\text{ClO}_4^-$  elution was carried out by the photometric method with copper cuproinate. The following sorbents were tested for perchlorate preconcentration: Accu Bond C18, Supelclean ENVI-Chrom P and Strata SDB-L. Separation of perchlorate from interfering contaminants with simultaneous preconcentration was



achieved by choosing a sorbent that had a sufficiently high capacity relative to the ion-pair reagent, as well as by dynamic modification of the sorbent with an ion-pair reagent selective for perchlorate and, in addition, by varying the elution conditions. Tetrabutylammonium chloride, cetyltrimethylammonium bromide, and decyltrimethylammonium bromide were investigated as ion-pair reagents. However, the indicated ion-pair reagents can also form ion associates with a number of other anions, which interfere with the determination of perchlorate, i.e. not only perchlorate anions, but also other anions present in water or soil will be preconcentrated on the cartridge with a sorbent. To elute interfering anions from the sorbent, dilute solutions of the ion-pair reagent in water or in water with an admixture of an organic solvent can be used. It was established that decyltrimethylammonium is more selective than tetrabutylammonium and cetyltrimethylammonium in relation to the sorption preconcentration of  $\text{ClO}_4^-$  and at the same time to the elution of other anions present in water, soil and, accordingly, in the concentrate. Among the sorbents tested, the Accu BOND C18 cartridge retained little ion-pair reagent and did not retain significant amounts of  $\text{ClO}_4^-$ . The Supelclean ENVI-Chrom P cartridge quantitatively retained decyltrimethylammonium bromide and preconcentrated both  $\text{ClO}_3^-$  and  $\text{ClO}_4^-$ . The concentration variation of the ion-pair reagent decyltrimethylammonium bromide was also studied. It was found that for the modification of the Supelclean ENVI-Chrom P sorbent, it is optimal to pass  $0.5 \text{ cm}^3$  of a  $5 \times 10^{-2} \text{ M}$  solution of this ion-pair reagent.

When choosing an eluent for the selective elution of perchlorate ions from sorbents in the form of an ion pair of  $\text{ClO}_4^-$  with decyltrimethylammonium, we took into account that the analytical form of perchlorate under study – the ion associate of decyltrimethylammonium with  $\text{ClO}_4^-$  – is a large, highly polar molecule, therefore we tested as eluents highly polar organic solvents characterized by high values of the dipole moment – ethanol, acetone, acetonitrile, and others. Thus, the dipole moments of ethanol and acetone, respectively, are equal to 1.7; 2.95; we used their mixtures containing the ion of the same kind (cationic surfactant) of various concentrations, as well as mixtures not containing the latter. When using Accu Bond C18 and Supelclean ENVI-Chrom P sorbents modified with decyltrimethylammonium, joint sorption of  $\text{ClO}_3^-$  and  $\text{ClO}_4^-$  ions, which have close sorption capacities, was observed, as well as sorption of other interfering anions present in environmental objects. Aqueous ethanol solutions of various concentrations were used as eluents. At low concentrations of ethanol in water, some chlorate remains in the concentrate along with the perchlorate on the column. When using a 30% solution of ethanol in water, a significant leakage of perchlorate into the eluate, which contained displaced chlorate, was observed. Thus, complete separation of  $\text{ClO}_3^-$  from  $\text{ClO}_4^-$  was not achieved under these conditions. When using a  $2 \times 10^{-3} \text{ M}$  solution of tetrabutylammonium chloride in a mixture of 80% water and 20% acetonitrile as an eluent, almost quantitative elution of  $\text{ClO}_3^-$  was observed, and at the same time about 15-20%  $\text{ClO}_4^-$  was eluted. Perchlorate, which remained in the amount of ~80%, was completely extracted with 2-3  $\text{cm}^3$  of 96% ethanol.

For comparison, the Phenomenex styrene-divinylbenzene sorbent - Strata SDB-L was studied. A column filled with 3  $\text{cm}^3$  of this sorbent had increased retention characteristics. It turned out that it is capable of quantitatively retaining the ion-

pair reagent decyltrimethylammonium bromide. Through it, after modification with decyltrimethylammonium, it was possible to pass up to 1 dm<sup>3</sup> of a water sample without noticeable leakage of ClO<sub>4</sub><sup>-</sup>.

As a result of comparing the chemical and analytical characteristics of different sorbents (Accu Bond C18, Supelclean ENVI-Chrom P and Strata SDB-L), we chose the sorbent Strata SDB-L, which had the highest retention characteristics. For conditioning the sorbent, it was optimal to use 3–4 cm<sup>3</sup> of 2.5×10<sup>-2</sup> M decyltrimethylammonium bromide when passing a sample of 50–400 cm<sup>3</sup>. For selective elution of interfering ions, including ClO<sub>3</sub><sup>-</sup>, 4–6 cm<sup>3</sup> of 2.5×10<sup>-3</sup> M decyltrimethylammonium bromide in a mixture of 15% acetone – 85% water were used. The ClO<sub>4</sub><sup>-</sup> concentrate, which remained on the column in the form of an ion associate (ClO<sub>4</sub><sup>-</sup>-decyltrimethylammonium<sup>+</sup>), was quantitatively extracted with 3 cm<sup>3</sup> of acetone.

Anionic surfactants that interfere with the determination of perchlorate may be present in natural waters and soils. These pollutants can be separated, for example, by passing water or soil extract through a polymeric reverse-phase sorbent. Experiments have shown that it is advisable to use an unmodified sorbent for the separation of a model anionic surface-active substance – sodium dodecyl sulfate; for this purpose, a cartridge with a Supelclean ENVI-Chrom P sorbent was used, and for comparison, an unmodified sorbent SDB-L. Known amounts of sodium dodecyl sulfate were added to the soil extracts that did not contain perchlorates, and these solutions were passed through the above-mentioned sorbents. Residual amounts of anionic surfactant were determined by the standard method with the Methylene Blue reagent. In another series of experiments, both sodium dodecyl sulfate and perchlorate were added to the soil, and water extracts were again prepared. It was found that sodium dodecyl sulfate with a concentration of 20 mg/kg was separated on both sorbents quantitatively with an error of determination of ClO<sub>4</sub><sup>-</sup> 6–7% at a perchlorate content of 10 mg/kg of soil.

**Conclusions.** Using the Strata SDB-L sorbent and the eluent of the optimized composition, complete separation of perchlorate from most anions that are usually present in natural waters, as well as from chlorate, which has similar retention characteristics to perchlorate, was achieved. This is a satisfactory result for the waters, as well as for the soils of the black soil zone of Ukraine.

УДК 502.51:502.172

**Прогнозування зміни екологічного стану поверхневих водних об'єктів з урахуванням впливу вищерозташованих притоків**

**<sup>1</sup>Світлана Коваленко, Роман Пономаренко, <sup>2</sup>Елеонора Дармофал**

<sup>1</sup>Національний університет цивільного захисту України, Харків, Україна

<sup>2</sup>Національний аерокосмічний університет ім. М.Є.Жуковського  
«Харківський авіаційний інститут»

**Вступ.** Під час попередніх досліджень якості води поверхневих водних об'єктів басейну Дніпра виявлено тенденцію до погіршення екологічного стану річки Дніпро. Причиною слугує техногенне навантаження, а також додатково впливають ліві притоки. Аналіз екологічного стану лівих приток Дніпра

показав, що існує певний вплив географічно вищерозташованих приток на розташовані нижче. Для підтвердження або спростування цієї гіпотези були побудовані ізолінії концентрації хлоридів та сульфатів за допомогою програмного забезпечення для геоінформаційних систем, яке знаходиться у відкритому доступі QGIS (Quantum GIS – <https://www.qgis.org/>) та здійснено пошук кореляційних залежностей. За допомогою отриманих результатів було встановлено, що існують внутрішні течії [1, 2]. Від вмісту води в ґрунті залежить інтенсивність протікання в ній біологічних, хімічних та фізико–хімічних процесів, пересування речовин і формування ґрунтового профілю, водно–повітряний, поживний і тепловий режими, її фізико–механічні властивості. Під час надходження води у ґрунт спочатку відбувається поглинання і проходження її від одного шару до іншого, ненасиченого водою. Піщані і супіщані ґрунти більш проникні для води, ніж суглинні і глинисті.

**Матеріали та методи.** Оскільки більшість природніх процесів, таких як інфільтрація, розбавлення вод, самоочищення річки та інші, які можна описати експоненціальним законом, тому процес впливу вищерозташованих приток на розташовані нижче доцільно розглядати на основі саме такої моделі.

Функціональна залежність матиме вигляд:

$$y = a \cdot e^{bx}, \quad (1)$$

де  $a$  – коефіцієнт, який характеризує вплив геологічної складової, ступінь недоочищеності скидів у місцях протікання приток;  $b$  – коефіцієнт, який характеризує пропускну здатність (проникливість) ґрунтів, яка залежить від складу, структурності, вмісту органічної речовини тощо. Проникливість ґрунту забезпечує пересування води в ґрунті, водопроникність і водопід’ємну здатність;  $x$  – фактичне значення концентрації забруднюючої речовини у вищерозташованій притоці, мг/дм<sup>3</sup>.

Згідно з теорією ймовірності та застосування критеріїв перевірки гіпотез про вид статистичного розподілу було обрано критерій Колмогорова-Смірнова (можливо застосувати, у разі якщо кількість спостережень необмежена і невпорядкована) та Шермана (застосування можливе при невпорядкованій вибірці та дисперсних даних вибірки) [3].

Як міра розбіжності між емпіричним і теоретичним законами розподілу вибрано максимальне значення  $D$  модуля різниці між емпіричною функцією розподілу  $F(x)$  і вибраною теоретичною функцією розподілу  $F^T(x)$  за критерієм Колмогорова-Смірнова:

$$D = \max |F^T(x) - F(x)|. \quad (2)$$

Незалежно від вигляду передбачуваної функції розподілу неперервної випадкової величини  $X$  у разі необмеженого збільшення кількості незалежних вимірювань  $n$  імовірність нерівності наближається до межі ймовірності, що дорівнює:

$$P(\lambda) = 1 - \sum_{k=-\infty}^{\infty} (-1)^k e^{-2k^2 \lambda^2}. \quad (3)$$

Статистика критерію Шермана визначається за формулою

$$\tilde{w}_n = u - \frac{0,0955}{\sqrt{n}} \left( u^2 - 1 \right), \quad (4)$$

де  $n$  – кількість спостережень.

$$\text{де } u = \frac{w_n - 0,3679 \cdot \left( 1 - \frac{1}{2n} \right)}{0,2431 \sqrt{n} \left( 1 - \frac{0,605}{\pi} \right)}.$$

За умови  $\tilde{w}_n \leq u_p$  з довірчою ймовірністю  $P$  гіпотеза експоненційності приймається ( $u_p$  – табличне значення). Відтворюваність дослідів було перевірено за критерієм Стьюдента [3]

$$t = \frac{\bar{x} - \bar{y}}{\sqrt{\frac{s_1^2}{n_1} + \frac{s_2^2}{n_2}}} \leq t_{(0,05; f_x)}, \quad (5)$$

де  $s^2$  – дисперсія середніх значень;  $\bar{x} - \bar{y}$  – різниця середніх значень вибірки;  $t_{(0,05; f_x)}$  – табличне значення критерію Стьюдента при 5%-му рівні значимості;  $f_x = n - 1$  – число ступенів свободи.

**Результати.** Процес вважається відтворюваним за умови виконання нерівності (5), тоді як будь-яке значення Стьюдента, яке отримано розрахунковим шляхом за даними експериментів, менше його табличного значення ( $t_{(0,05; f_x)} = 1,95996$ ).

Отримані результати за критерієм Колмогорова-Смірнова та Шермана вказують на те, що показники, що досліджуються відповідають нормальному закону розподілу. Результати розрахунку критерію Стьюдента дозволяють стверджувати, що гіпотеза експоненційності не відхиляється, так як розраховані значення критеріїв менші табличного. Ймовірність того, що процес впливу розташованих вище притоків на нижчерозташовані за постами спостережень можна описати експоненціальним законом складає більше 95%.

**Висновки.** Побудована математична модель дозволяє прогнозувати вплив вищерозташованих притоків на розташовані нижче. Отримані результати розрахунку критерію Колмогорова-Смірнова та Шермана дозволяють стверджувати, що досліджувані дані відповідають нормальному закону розподілу. Розроблена модель прогнозування екологічного стану поверхневих водних об'єктів суббасейнів Дніпра є надійною та ефективною, а також може бути впроваджена під час розрахунків ризику виникнення надзвичайних ситуацій природного і техногенного характеру, оскільки розраховані значення критерія Стьюдента менші за його табличне значення ( $t_{(0,05; f_x)} = 1,95996$ ).

## Перелік джерел інформації

1. Коваленко С.А. Вплив обміну ґрунтовими водами між притоками на екологічну якість вод поверхневих водних об'єктів. Техногенно-екологічна безпека. Харків. 2023. 14(2/2023). С. 98–103. DOI: <https://doi.org/10.52363/2522-1892.2023.2.10>

2. Коваленко С.А., Пономаренко Р.В., Третьяков О.В. Вплив якості води лівих приток Дніпра на зміну його екологічного стану. Молоді вчені 2024 – від теорії до практики: XIV Всеукраїнська науково-практична конференція здобувачів вищої освіти і молодих учених (21 березня 2024 р.). Дніпро. 2024. С.211–214.

3. Статистичний аналіз даних вимірювань: навч. посібник / В.С.Єременко, Ю.В. Куц, В.М. Мокійчук, Самойліченко О.В. Київ: НАУ, 2013. 320 с.

УДК543.3

### Нові аналітичні системи для визначення деяких токсичних речовин у водах

<sup>1</sup>Жолт Кормош, <sup>1</sup>Наталія Горбатюк, <sup>2</sup>Оксана Юрченко, <sup>2</sup>Тетяна Савчук, <sup>2</sup>Сергій Супрунович, <sup>3</sup>Наталія Кормош, <sup>4,5</sup>Володимир Ткач

<sup>1</sup>Уманський державний педагогічний університет імені Павла Тичини, Умань, Україна

<sup>2</sup>Волинський національний університет імені Лесі Українки, Луцьк, Україна

<sup>3</sup>Луцький базовий фаховий медичний коледж, Луцьк, Україна

<sup>4</sup>Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича, Чернівці, Україна

<sup>5</sup>Факультет інженерії університету Порту, Порту, Португалія

**Вступ.** Вода характеризується складом та властивостями, котрі визначають її придатність для конкретних видів водокористування. Оцінка якості води здійснюється за ознаками, які вибираються та нормуються в залежності від виду водокористування. В Україні діють нормативні документи, які визначають гранично допустимі концентрації тих чи інших компонентів. Ці нормовані вмісти відрізняються для різних тип води (питні, поверхневі, для рибогосподарського користування, зрошувальні, зливні води та ін.).

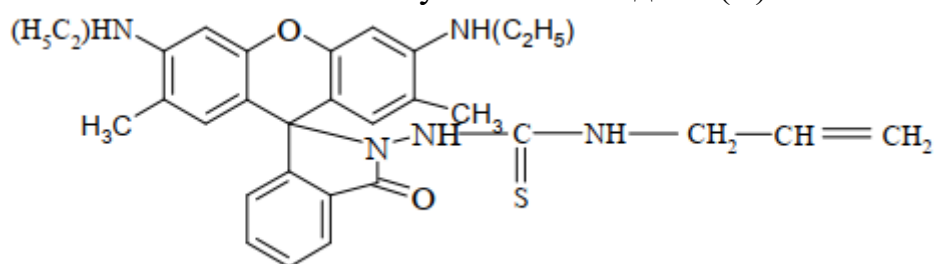
В даній роботі запропоновано комплекс методик щодо визначення деяких токсичних речовин у водах.

**Матеріали і методи.** У роботі використовували методи потенціометрії, екстракції, спектрофотометрії, спектролюмінесценції. Всі реактиви відповідали кваліфікації ч.д.а.

**Результати.** Показано, що 2,4,5-трихлорхлорфеноксіоцтова кислота (2,4,5-Т) з поліметиновим барвником астрафлосин FF (АФ) утворює іонний асоціат (ІА)[1]. Отримані ІА досить добре екстрагуються різними ароматичними вуглеводнями. Максимальне вилучення ІА з водної фази досягається при рН 4,5–12,0. Вивчено вплив концентрації барвника на оптичну густину толуольних екстрактів іонних асоціатів 2,4,5-Т з АФ. Екстракція ІА досягає максимального

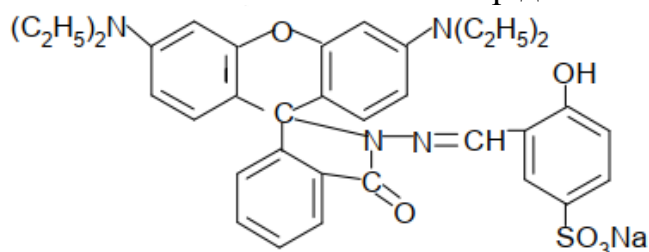
значення при концентрації барвника  $(1,5-3,0) \cdot 10^{-4}$  М. Рівновага екстракції досягається за 50–60 с. Стехіометрію ІА 2,4,5-Т з АФ встановлено спектрофотометричними методами ізомолярних серій та зсуву рівноваги; співвідношення компонентів складає 1:1. Запропоновано схему утворення та екстракції ІА. Умовний молярний коефіцієнт поглинання ІА становить  $1,2 \cdot 10^5$ . Градувальний графік залежності оптичної густини екстрактів від концентрації 2,4,5-Т описується рівнянням прямої  $A = 0,012 + 0,062c$  в інтервалі концентрацій 1,50–58,07 мкг/см<sup>3</sup> 2,4,5-Т. Межа виявлення 2,4,5-Т, розрахована за 3s-критерієм ( $n = 5, P = 0,95$ ), становить 0,8 мкг/см<sup>3</sup>. Оцінку внутрішньолaboratorної розбіжності побудови градувального графіка для визначення 2,4,5-трихлорхлорфеноксіцтової кислоти проводили із застосуванням критерію Кохрена ( $G$ ). Розраховане значення цього критерію ( $n = 5, P = 0,95$ ) менше за табличне значення  $G_{\text{розрах}} = 0,25 < G_{\text{табл}} = 0,64$ , що свідчить про однорідність дисперсії. Розроблена методика екстракційно-фотометричного визначення 2,4,5-трихлорхлорфеноксіцтової кислоти у воді та донних відкладеннях[1].

Запропоновано та синтезовано новий хемосенсор (ХС) для визначення Cu(II). Установлено оптимальні умови взаємодії Cu(II) із ХС.



Максимальне значення аналітичного сигналу досягається при  $2 \cdot 10^{-4}$  моль/л ХС та рН 4. Виявлено, що введення у реакційне середовище ацетонітрилу покращує відтворюваність спектральних та метрологічних характеристик. Показано, що на аналітичний сигнал Cu(II) не впливають значні кількості Cs(I), Na(I), Li(I), Mg(II), Ca(II), Ba(II), Mn(II), Ni(II), Co(II) та інші іони. В оптимальних умовах взаємодії побудовані градувальні графіки, що лінійні до 2 мкг/мл іонів Cu(II) у розчині і описуються рівняннями:  $A = 0,0556 + 0,1214 \cdot C_{\text{Cu(II)}}$  при  $\lambda = 638$  нм та  $A = 0,0018 + 0,18841 \cdot C_{\text{Cu(II)}}$  при  $\lambda = 520$  нм. Розроблена методика визначення Cu(II) у водах [2].

Запропоновано та синтезовано новий хемосенсор для визначення Fe(III).

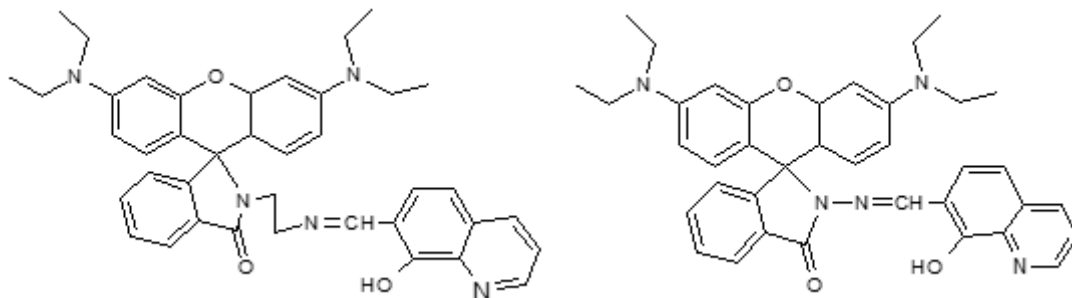


Установлено оптимальні умови взаємодії Fe(III) із ХС. Максимальне значення аналітичного сигналу спостерігається при рН 4 та  $(1,0-1,6) \cdot 10^{-4}$  моль/л ХС. Виявлено, що введення у реакційне середовище до 20 % ацетонітрилу покращує відтворюваність спектральних та метрологічних характеристик.

Показано, що на аналітичний сигнал Fe(III) не впливають значні кількості Cs(I), Na(I), Li(I), Mg(II), Ca(II), Ba(II), Mn(II), Ni(II), Co(II) та інші іони.

В оптимальних умовах взаємодії побудований градувальний графік, щолінійний до 3,2 мкг/мл Fe(III), що описується рівнянням  $A = -0,22545 + 0,19733 \cdot m\text{Fe(III)}$  та тест-шкалу. Розроблена методика визначення Fe(III) у водах [3].

Запропоновано нові хемосенсиори для визначення Цинку(II). Описано синтез РСЕО та РСГО.



Показано, що досліджені реагенти є ефективними хемосенсиорами для визначення Цинку. У синхронних спектрах люмінесценції максимуми люмінесценції знаходяться при довжинах хвиль: для РСЕО при: 468 нм; 450 нм, 490 нм та 532 нм; для РСГО при: 350 нм; 370 нм та 411 нм. Максимуми у спектрах збудження люмінесценції для комплексу Zn(II) з РСЕО (РСГО) становить 360 нм (380 нм), максимум люмінесценції відповідно 505 нм (450 нм). Встановлено кінетичні параметри люмінесценції комплексів. Встановлено, що оптимальна люмінесценція комплексів спостерігається при вмісті ацетонітрилу у розчині 20-60 % об. (РСЕО) та 40-50 % об. (РСГО). Ефективний аналітичний сигнал спостерігається також у водно-тетрагідрофурановому середовищі (10 % об.). Методом ізомольярних серій встановлено склад комплексів 1:1. Запропоновано найбільш імовірну структуру комплексів, які утворюються у досліджених системах та зроблені квантово-хімічні розрахунки. У комплексі ZnРСЕО центральний атом (Zn(II)) має більш значний вплив розраховані параметри сенсібілізуючої частини хемосенсора ніж в комплексі із ZnРСГО. Це пов'язано із більш жорсткою структурою комплексу ZnРСЕО. Показано, що досліджені реагенти є ефективними хемосенсиорами для визначення Цинку. Розроблено методику люмінесцентного визначення цинку, яка апробована при його визначенні у водах. Градувальний графік прямолінійний до 47 мкг цинку і описується рівнянням  $I = -67,53659 + 77,63145 C_{\text{Zn}}$ .

**Висновки.** Використовуючи запропоновані реагенти можна надійно визначати 2,4,5-трихлорфеноксіоцтову кислоту, Cu(II), Fe(II) та Zn(II) у різних пробах води.

### Перелік джерел інформації

1. Zh. O. Kormosh, O. O. Matskiv, N. M. Horbatiuk, Yu. V. Bokhan, O. M. Yurchenko, and M. V. Shevchuk. J. Water Chem. Techn., 2024, Vol. 46, No. 6, pp. 610–616.

2. Кормош Ж.О., Боркова С.Г., Кормош А.Ж., Павленко Ю.Л., Бохан Ю.В., Супрунович С.В., Савчук Т.І., Корольчук С.І. Наук. вісник Ужгород. ун-ту (Сер. Хімія), 2018, № 1 (39), С. 52-56.

3. Кормош Ж., Боркова С., Супрунович С., Очко Т. Наук. вісник Ужгород. ун-ту (Сер. Хімія), 2016, № 2 (36), С. 41-44.

UDC 628.16

### **Amino-containing organosilicas as sorbents for the rare-earth elements**

**Veronika Tomina<sup>1</sup>, Nataliia Stoliarchuk<sup>1</sup>, Olha Semeshko<sup>2</sup>, Inna Melnyk<sup>2</sup>**

*<sup>1</sup>Chuiko Institute of Surface Chemistry of NAS of Ukraine,*

*<sup>2</sup>Institute of Geotechnics of Slovak AS*

**Introduction.** The rare-earth elements (REEs), due to their unique electric, magnetic, and luminous properties are often known as ‘technology metals’, underscoring their essential role in modern technology. They are components of permanent magnets crucial for motors and generators, constituents of alloys used in rechargeable solid state batteries, phosphors in LEDs and lasers, catalysts in chemical processes, additives giving ceramics and glasses specific properties and other high-technology applications [1]. However, the growing production of high-tech systems causes several urgent challenges. They include necessity for proper utilization of the broken devices, a search for the alternative (other than mining) sources of REEs, and raising human and ecological health concerns regarding increased release of REEs in the environment with mine wastes, industrial wastewaters, or leakages from landfills. Getting in the aquatic systems, the REEs can be uptaken by the aquatic organisms and ingested by humans possibly causing different disorders [1]. Therefore, developing sorbents for the recovery of REEs has become an urgent priority. Hybrid organic-inorganic materials, combining stable inorganic porous matrices with selective surface functional groups, offer an ideal solution. Such materials can be designed on a molecular level via the sol-gel method. Research has shown that amino groups exhibit affinity towards the REEs, leading us to synthesize various types of amino-containing particles as potential sorption materials for the REEs ions.

**Materials and methods.** *The following silanes were used as structuring agents: tetraethyl orthosilicate; 1,2-bis(triethoxysilyl)ethane; or 1,4-bis (triethoxysilyl) benzene. Amino-containing silanes used to incorporate functional groups: bis[3-(trimethoxysilyl)propyl]amine (samples **TNH**, **ENH**, and **BNH** as described in [2]); 3-aminopropyltriethoxysilane (**SiAPh**, **EtbrA**, and **PhbrA** see ref. [3]); N-[3-(trimethoxysilyl)propyl]ethylenediamine (**TNN3**, **ENN1**, and **BNN1**[4]); and N1-(3-trimethoxy silylpropyl)diethylenetriamine (**S1** and **S2** [5]). Phenyltriethoxysilane was used to affix additional phenyl groups onto **SiAPh** sample [3]. The syntheses were conducted in EtOH with the addition of 25 % NH<sub>4</sub>OH as catalyst of co-condensation and 1 % NH<sub>4</sub>F for pre-hydrolysis of bridging structuring silanes. The prepared samples were characterized by analysis on the CHNS elements with Vario MACRO cube (Elementar Analysensysteme GmbH, Germany); low-temperature N<sub>2</sub> adsorption and desorption isotherms measurements with a Costech Microanalytical Kelvin-1042 in-*



strument; zeta-potential measurements by a Zetasizer Nano ZS (Malvern, Great Britain), and REE ions adsorption studies in the static mode by batch method.

**Results.** The properties of different types of amino-containing particles prepared via co-condensation of structuring and functionalizing silanes are summarized in Table 1, while the results of REE ions adsorption studies are summarized in Figure 1. All the materials with bridging amino groups appear to possess well-developed porous structures ( $S_{\text{BET}} > 600 \text{ m}^2/\text{g}$ ), high content of functional groups ( $\sim 3 \text{ mmol/g}$ ), and high sorption capacity towards ions of Nd(III) and Dy(III). Among them, phenylene-bridged sample has potential as selective sorbent for Dy.

Table 1. – **Composition and characteristics of the samples**

Sample	Structuring silane	N, mass. %	$C_{\text{N-cont f.g.}}$ , mmol/g	$S_{\text{BET}}$ , $\text{m}^2/\text{g}$	$V_{\text{p}}$ , $\text{cm}^3/\text{g}$	pI	REE	ref
Particles with bridging amino groups $-(\text{CH}_2)_3\text{NH}(\text{CH}_2)_3-$								
<b>TNH</b>	$\text{Si}(\text{OC}_2\text{H}_5)_4$	4.29	3.2	607	0.52	4.7	Nd, Dy	[2]
<b>ENH</b>	$\equiv\text{Si}-\text{C}_2\text{H}_4-\text{Si}\equiv$	4.28	3.2	759	0.62	4.0	Nd, Dy	[2]
<b>BNH</b>	$\equiv\text{Si}-\text{C}_6\text{H}_4-\text{Si}\equiv$	3.65	2.7	718	0.58	2.9	Nd, Dy	[2]
Particles with amino groups $-(\text{CH}_2)_3\text{NH}_2$								
<b>SiAph</b>	$\text{Si}(\text{OC}_2\text{H}_5)_4$	2.35	1.6	88	0.26	9.2	Eu	[3]
<b>EtbrA</b>	$\equiv\text{Si}-\text{C}_2\text{H}_4-\text{Si}\equiv$	6.10	4.1	64	0.11	9.4	Eu	[3]
<b>PhbrA</b>	$\equiv\text{Si}-\text{C}_6\text{H}_4-\text{Si}\equiv$	3.55	2.4	620	0.43	3.7	Eu	[3]
Particles with ethylenediamino groups $-(\text{CH}_2)_3\text{NH}(\text{CH}_2)_2\text{NH}_2$								
<b>TNN3</b>	$\text{Si}(\text{OC}_2\text{H}_5)_4$	7.54	2.91	427	0.51	10.14	Eu	[4]
<b>ENN1</b>	$\equiv\text{Si}-\text{C}_2\text{H}_4-\text{Si}\equiv$	8.79	3.40	12	-	4.59	Eu	[4]
<b>BNN1</b>	$\equiv\text{Si}-\text{C}_6\text{H}_4-\text{Si}\equiv$	7.54	2.91	190	0.21	9.19	Eu	[4]
Particles with diethylenetriamino groups $-(\text{CH}_2)_3\text{NH}(\text{CH}_2)_2\text{NH}(\text{CH}_2)_2\text{NH}_2$								
<b>S1</b>	$\text{Si}(\text{OC}_2\text{H}_5)_4$	5.99	1.52	294	1.08	9.81	Tb	[5]
<b>S2</b>	$\equiv\text{Si}-\text{C}_6\text{H}_4-\text{Si}\equiv$	5.98	1.52	397	0.34	7.90	Tb	[5]

Regarding hybrid organosilicas with aminopropyl groups attached to the surface (**SiAph**, **EtbrA**, and **PhbrA**), there is a direct dependence between the content of amino groups, and the adsorption capacity towards  $\text{Eu}^{3+}$ . Moreover, there is also a direct dependence between the  $\text{Eu}^{3+}$  loading and the intensity of  ${}^5\text{D}_0\text{-}{}^7\text{F}_2$   $\text{Eu}^{3+}$  emission peak in the luminescence spectra, implying that such materials have prospects as sensors [3]. However, the introduction of higher number of N-containing adsorption sites via longer diethyleneamino functional groups (materials **TNN3**, **ENN1**, and **BNN1**) did not result in increased uptake of  $\text{Eu}^{3+}$ . It may be explained either by high coordination number of Eu, when 1  $\text{Eu}^{3+}$  ion can coordinate up to 8 amino groups, or geometrical factors preventing amino groups from interaction.

Further increase in number of N-containing adsorption sites applying diethylenetriamino functions produces samples (**S1** and **S2**) with well-developed porous structure ( $S_{\text{BET}} \sim 300 \text{ m}^2/\text{g}$ ) and high content of functional groups ( $1.5 \text{ mmol/g}$ ). Analyzing the peculiarities of Tb adsorption by these samples, polysiloxane **S1** has slightly higher affinity to  $\text{Tb}^{3+}$ , compared to polysilsesquioxane **S2**, and the

interaction occurs via chemisorption. As demonstrated in [5], the surface complexes of  $Tb^{3+}$  appear to involve amino groups and  $NO_3^-$  ions. Moreover, due to the presence of phenylene bridges in the structure of silica matrix, such  $Tb^{3+}$ -loaded materials with diethylenetriamino groups could be applied as sensors for Ofloxacin [5].

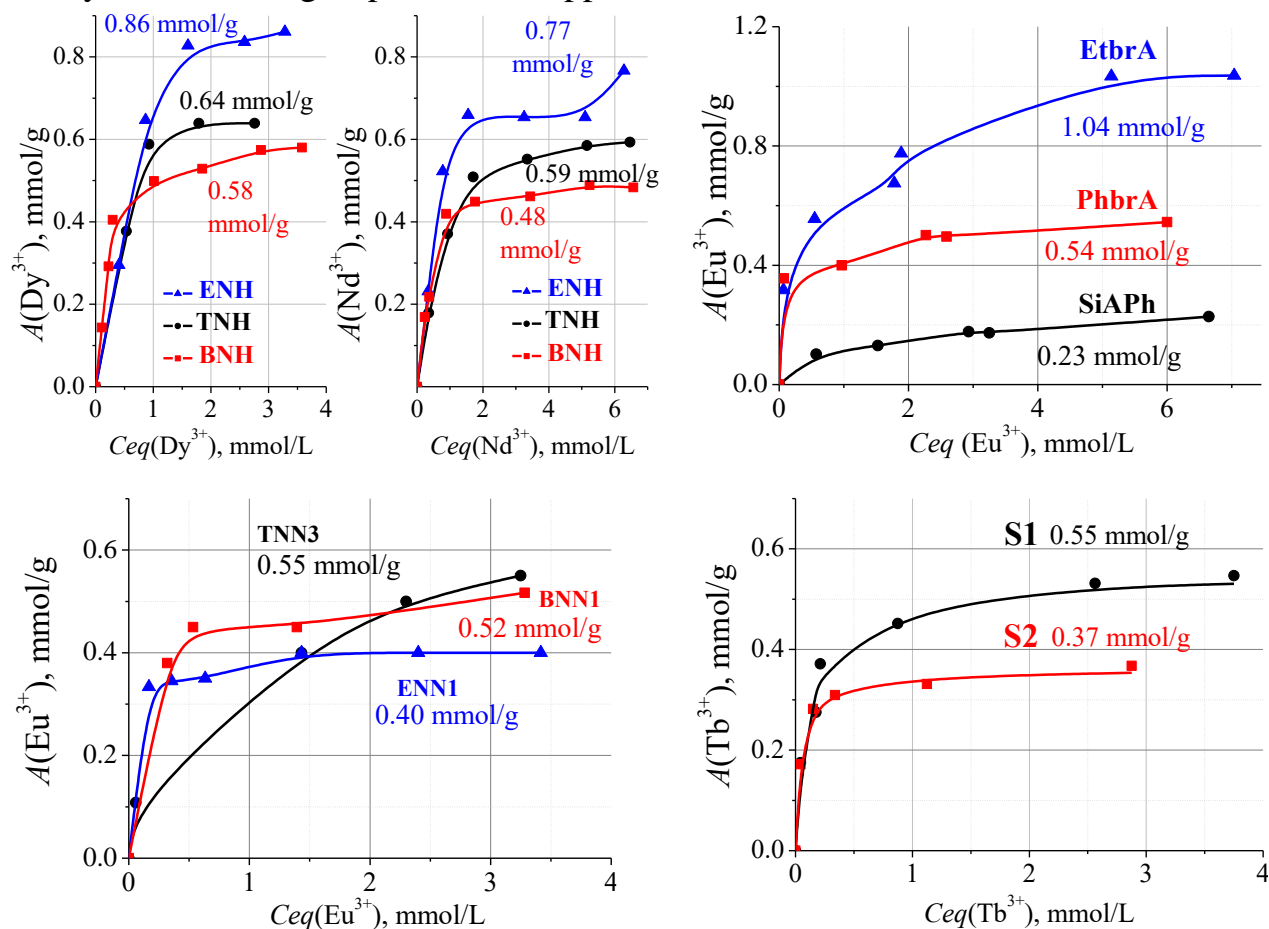


Figure 1. The REE ions adsorption isotherms for different amino-containing organosilicas

**Conclusions.** Hybrid organosilica materials with different amino groups on the surface can be applied as sorbents for water purification from REEs. Their sorption capacity depends on the group's content and porous structure particularities. Such REE-loaded materials can also find other useful applications.

**Acknowledgement.** The research is financially supported by Visegrad Scholarship ID#52410608, VEGA 2/0138/24, and the EU NextGenerationEU through the Recovery and Resilience Plan for Slovakia under the projects 09I03-03-V01-00098 and 09I03-03-V04-00708.

## References

1. Gwenzi, W., et al. Sources and Health Risks of Rare Earth Elements in Waters. In: Inamuddin, Ahamed, M.I., Lichtfouse, E. (eds) Water Pollution and Remediation: Heavy Metals. Environmental Chemistry for a Sustainable World, vol 53 (2021). Springer, Cham. Pp.1-36 [https://doi.org/10.1007/978-3-030-52421-0\\_1](https://doi.org/10.1007/978-3-030-52421-0_1).
2. Melnyk, I., et al. Mesoporous polysilsesquioxane adsorbents with secondary amine groups for ions of metals, rare earth elements, and reactive dye removal. Appl Nanosci 13, 7349–7363 (2023). <https://doi.org/10.1007/s13204-023-02919-x>

3. Tomina, V.V., et al. Preparation and luminescence properties of europium(III)-loaded aminosilica spherical particles. *Colloid Surface A*, 125552 (2020). <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2020.125552>

4. Tomina, V., et al. Diamine Groups on the Surface of Silica Particles as Complex-Forming Linkers for Metal Cations. *Molecules*. 28(1) (2023), 430. <https://doi.org/10.3390/molecules28010430>

5. Tomina, V., et al. Terbium(III) ions complexes with (propyl)diethylene triamine groups on the surface of organosilicas as potential sensors for detecting antibiotics in water. *Proceedings of the XXXIII Scientific Symposium with International Participation 'Situation in ecologically loaded regions of Slovakia and Central Europe'*, 24-25 October, 2024, Hradok, Slovakia, pp. 209-215.

УДК 681.518.3

**Аналіз літератури при дослідженні якості водних ресурсів із використанням наукометричної бази SCOPUS**

<sup>1</sup>Мар'яна Швець, <sup>1</sup>Богдан Сокіл, <sup>2</sup>Софія Сверстюк, <sup>1</sup>Галина Гуменюк, <sup>2</sup>Андрій Сверстюк

<sup>1</sup>*Тернопільський національний педагогічний університет імені Володимира Гнатюка, м. Тернопіль*

<sup>2</sup>*Тернопільський національний медичний університет імені І.Я. Горбачевського*

**Вступ.** Проблема якості води набуває дедалі більшої важливості через зростаючий попит на чисту воду для промислових, сільськогосподарських та побутових потреб, особливо у регіонах, схильних до посух і забруднення підземних та поверхневих вод. Вода є ключовим ресурсом для забезпечення громадського здоров'я, тому її моніторинг та управління є важливими завданнями для сталого розвитку. Актуальність дослідження обумовлена необхідністю вдосконалення методів оцінки якості води для різних джерел, зокрема стічних вод і підземних вод, з метою забезпечення ефективного використання водних ресурсів. «Scopus» – це корисна наукометрична база для дослідників, які хочуть зрозуміти динаміку публікацій у певних галузях, аналізувати вплив окремих термінів або тем у науковій літературі та оцінювати популярність напрямків досліджень у глобальному масштабі. Аналітичний огляд літературних джерел буде доцільним для цієї теми, щоб віднайти публікації стосовно збереження якості води.

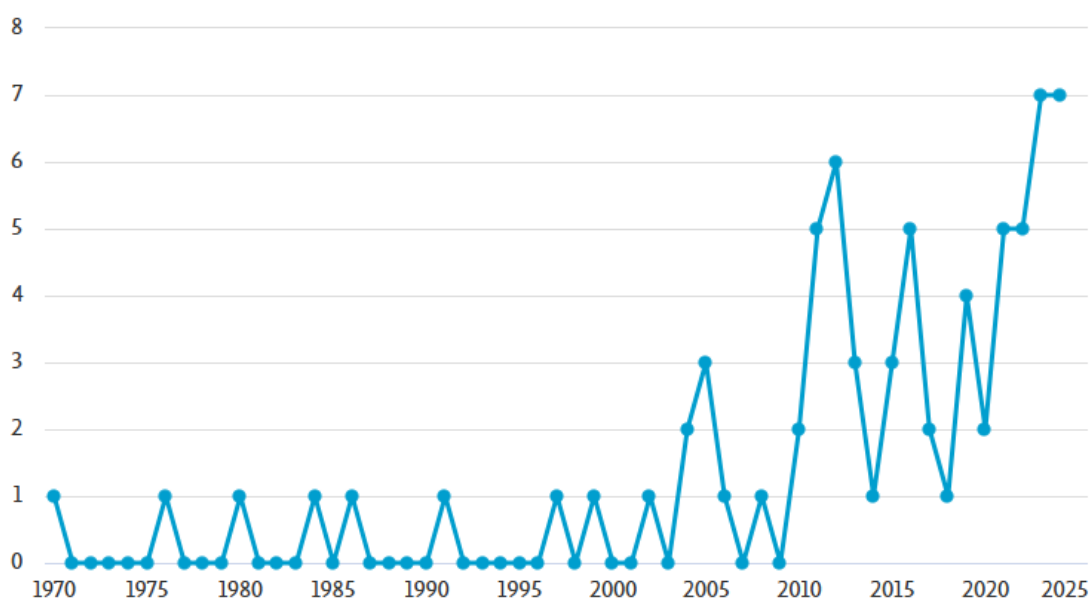
**Матеріали та методи.** Для дослідження використовувалися методи аналізу частоти термінів, авторських трендів і тем, релевантних ключових слів та фраз, методи сортування та бібліографічні данні. Scopus індексує рецензовані наукові статті, дисертації, монографії та матеріали конференцій з понад 24 000 наукових журналів.

**Мета:** провести огляд наукометричної бази «Scopus», звернути увагу на ефективність пошуку аналізу та оцінки наукових даних, що сприяє розвитку нових досліджень і відкриттів. Також на прикладі показати які сучасні методи оцінки якості води для точнішого прогнозування її якості та придатності, ми

знайшли за допомогою однієї з найбільших баз даних рецензованих наукових статей.

**Основні результати:** при вивченні якості води на базі Scopus було сформовано запит: <https://www.scopus.com/term/analyzer.uri?sort=plf-f&src=s&sid=34b05e3a5237f83eb88af2adcc1b96ed&sot=a&sdt=a&sl=89&s=TITLE-ABS-KEY+%28+%22Water+quality+methods%22+%29+OR+TITLE-ABS-KEY+%28+%22water+evaluation+methods%22+%29&origin=resultslist&count=10&analyzeResults=Analyze+results>

Знайдено 74 статей з 1970 по 2024 рік та 35 статей з 2014 по 2023 рік, які стосуються дослідження якості води. На рис. 1 зображено кількість публікацій в наукометричній базі Scopus за 1970-2024 роки. Найбільша кількість публікацій припадає на 2024 р.



**Рис. 1. Кількість публікацій за 1970-2024 роки, які стосуються дослідження якості води**

На рис. 2 зображено кількість публікацій в наукометричній базі Scopus за 2014-2023 роки. Найбільша кількість публікацій припадає на 2023 р.

Documents by year

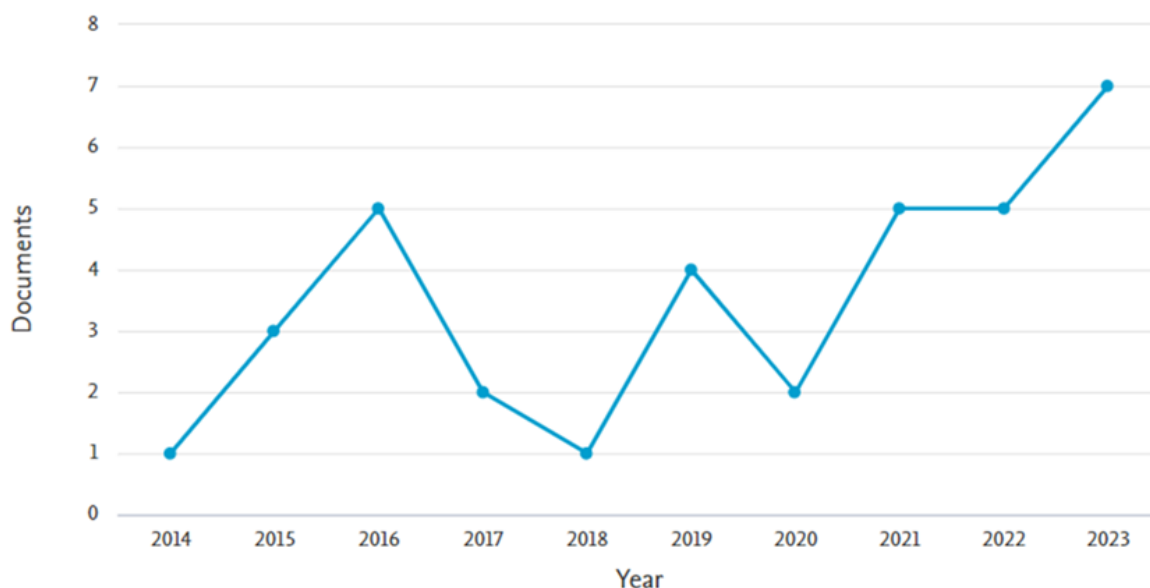


Рис. 2. Кількість публікацій за 2014-2023 роки які стосуються дослідження якості води

На рис. 3 наведено 10 авторів, які опублікували найбільшу кількість публікацій, які представленні в наукометричній базі Scopus за результатами пошуку дослідження якості води. Зокрема, це автори: Conn. K.E[1], Habteselassie. M.Y[2], Noble. R.T[1], Saha. P.D[3], Abebe. A[4], Acheng. P, Afzal. U[5], Ain. C[6], Akhila[7]. T.S, Alabaster. J.S[8] йін.

Найбільшу кількість публікацій опублікували Conn. K.E[1], Habteselassie. M.Y[2], Noble.R.T[1], зокрема кожен з них опублікував по 2 публікації, що стосуються проблеми якості води.

Documents by author

Compare the document counts for up to 15 authors.

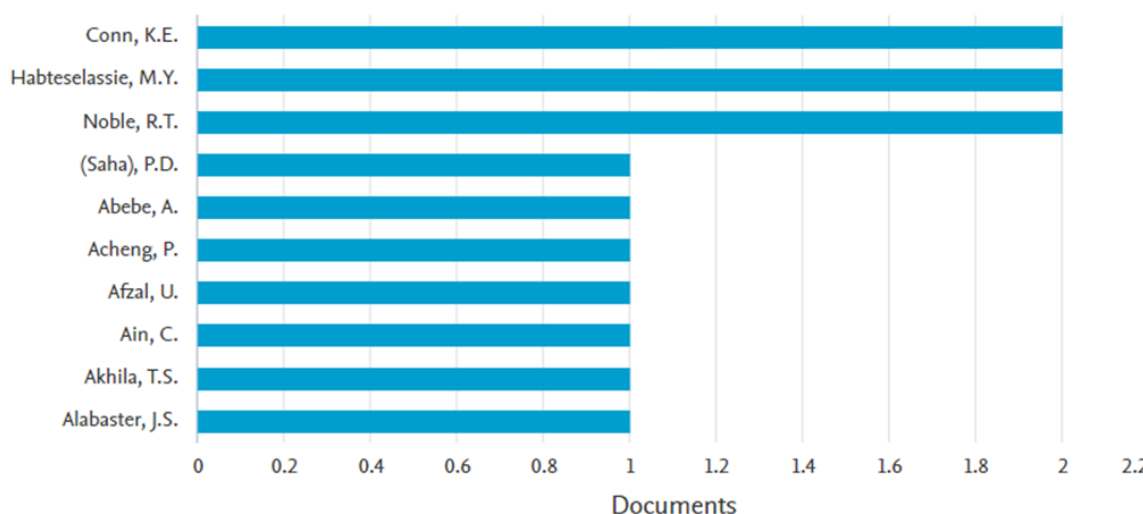


Рис. 3. Найбільша кількість публікацій, які стосуються дослідження якості води за авторами

На рисунку 4 зображено країни, де опубліковано найбільшу кількість статей цієї проблематики, що подані в бібліографічній базі даних Scopus за результатами пошуку при дослідження якості води.

Найбільше статей опубліковано у Китаї – 16, далі США – 16, Індія – 7, Бразилія – 5, Австрія – 4, Індонезія – 4, Японія – 4, Північна Африка – 3, Єгипет – 2, Франція – 2.

#### Documents by country or territory

Compare the document counts for up to 15 countries/territories.

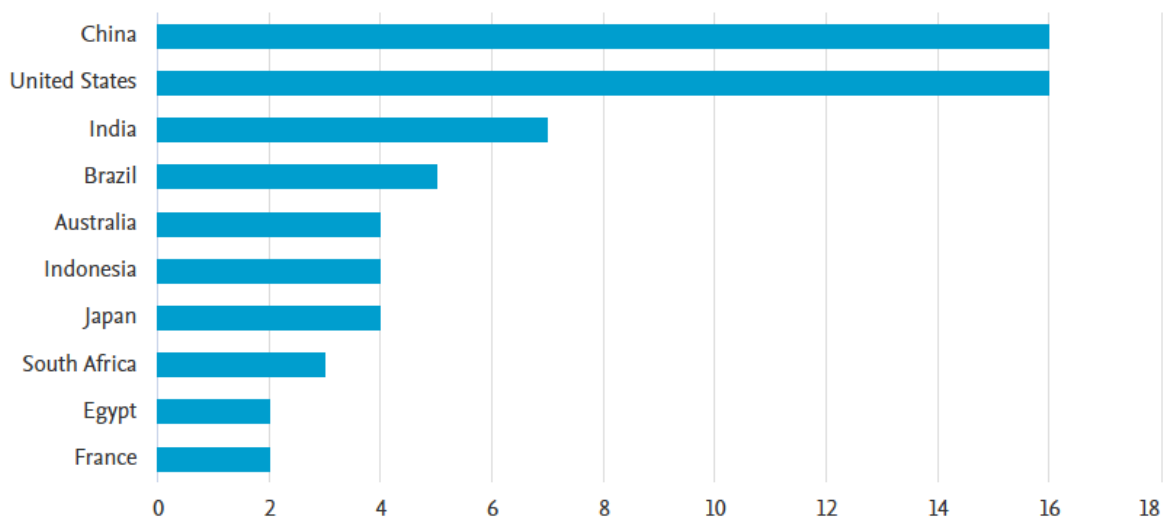


Рис.4. Найбільша кількість публікацій, які стосуються дослідження якості води по країнах

**Висновки.** Платформа Scopus є надзвичайно корисним інструментом для наукової спільноти. Вона забезпечує широкий доступ до наукових даних: Scopus надає можливість швидко знаходити якісні рецензовані дослідження з різних галузей науки, аналізувати наукові тренди, дозволяє вивчати цитованість робіт, оцінювати вплив публікацій та встановлювати наукові контакти, що робить її незамінною платформою для наукового аналізу та співпраці. Загалом, Scopus сприяє підвищенню якості наукової роботи, полегшуючи доступ до знань та допомагаючи в ефективному використанні інформації для подальших досліджень і відкриттів.

#### Список використаних джерел

1. Conn, K.E, Habteselassie, M.Y., Denene Blackwood, A., Noble, R.T. Microbial water quality before and after the repair of a failing onsite wastewater treatment system adjacent to coastal

URL: [watershttps://www.scopus.com/record/display.uri](https://www.scopus.com/record/display.uri)

2. Habteselassie, M.Y., Kirs, M., Conn, K.E., Kelly, G., Noble, R.T Tracking microbial transport through four onsite wastewater treatment systems to receiving waters in eastern North Carolina.

URL: <https://www.scopus.com/record/display.uri>

3. Saha. P.D. Assessment of water quality index using cluster analysis and artificial neural network modeling: a case study of the Hooghly River basin, West Bengal, URL: <https://www.scopus.com/record/display.uri>
4. Abebe. A. Hydrochemical Characterization and Water Quality Assessment for Drinking and Irrigation Purposes Using WQI and GIS Techniques in the Upper Omo River Basin, Southern Ethiopia  
URL: <https://www.scopus.com/record/display.uri>
5. Khalil, S. Mahnashi, M.H. Hussain, M. Awais, M. Irfan, M. Exploration and determination of algal role as Bioindicator to evaluate water quality – Probing fresh water algae URL: <https://www.scopus.com/record/display.uri>
6. Janarko, A.B.Rudiyanti, S.Ain, C. Analysis suitability of river tubing tourism based on characteristics and water quality of the Kranji River Semarang  
URL: <https://www.scopus.com/record/display.uri?>
7. Sajan, R.I.Christopher, V.B.Akhila, T.S.Kavitha, M.J. Drinking water quality detection using genetic neural network. URL: <https://www.scopus.com/record/display.uri>
8. Alabaster. J.S. The water quality aspects of water transfers.  
URL: <https://www.scopus.com/record/display.uri>

УДК 330.15:351.778.3:355.018

### **Розробка мобільної установки для очищення питної води**

**Дмитро Стрижак, Наталія Гусятинська**

*Національний університет харчових технологій, Київ, Україна*

**Вступ.** В умовах зростаючої урбанізації, глобальних змін клімату та екологічних проблем, забезпечення населення якісною питною водою стає однією з найгостріших глобальних проблем. Україна, як і багато інших країн, стикається з низкою викликів у сфері водозабезпечення, включаючи старіння інфраструктури, забруднення джерел води та недостатнє очищення стічних вод. Збройні конфлікти можуть по-різному порушувати роботу систем водопостачання, з негативними наслідками, що лежать в площині від базового надання послуг із забезпечення водою до впливу на соціально-економічний розвиток регіону. За даними Світового банку, населення в країнах, що розвиваються, які постраждали від конфлікту, непропорційно сильно страждає внаслідок відсутності доступу до якісної питної води та погіршення санітарного стану об'єктів водопостачання [1].

Враховуючи ці фактори, розробка мобільної установки вітчизняного виробництва для очищення води є нагальною потребою.

**Матеріали і методи.** Під час експериментальних досліджень використовували аналітичні, хімічні, фізико-хімічні методи з використанням приладів та методик досліджень якості води згідно ДСанПіН 2.2.4-171-10 та ДСТУ 7525:2014.

**Результати.** Слід зазначити, що на сьогодні в окремих регіонах країни склалася достатньо складна ситуація із забезпеченням населення водою

питного гатунку, що пов'язано з рядом причин, зумовлених воєнними діями в Україні, зокрема внаслідок руйнування очисних споруд, дамб, виведення з ладу організацій, які забезпечували водопостачання та очищення стічних вод. Спостерігається погіршення якості води у поверхневих та підземних джерелах внаслідок їх забруднення хімічними речовинами та мікроорганізмами, що може спричинити як погіршення якості життя, так і загрозу епідемії інфекційних захворювань[2]. Крім того, погіршення якості питної води може спостерігатися, зокрема, у віддалених населених пунктах та під час надзвичайних ситуацій, таких як паводки, техногенні катастрофи. В цих умовах необхідність у мобільних рішеннях для очищення води стає особливо актуальною.

Наразі на ринку водопідготовки пропонується ряд мобільних установок для очищення питної води: Membrane Solutions WS02 Survival Emergency Straw Water Filter (4-ступенева установка фільтрації, яка поєднує фільтр грубої очистки, поліпропіленову картридж, активоване вугілля зі шкаралупи кокосового горіха та ультрафільтраційні мембрани з порожнистих волокон) [3]; WTC 700 – мобільна установка, яка може очищати прісну, солону або навіть хімічно забруднену воду [4]; WTC 8000/15000 RO/UF C (гібридна мобільна система очищення води з використанням як ультрафільтрації, так і зворотного осмосу) [5].

Серед переваг мобільних установок для очищення води слід визначити такі: гнучкість, компактність, економічність, автономність, можливість швидкого транспортування.

**В ТОВ «СМАРТ ВОТЕР ГРУП»** розроблено модульну установку (рис.1) очищення води з відкритих джерел (річка, водосховище, озеро тощо) для забезпечення населення питною водою в регіонах, які постраждали від недостатнього водопостачання.



**Рисунок 1 – Модульна установка водоочищення**

В таблиці 1.1 наведені показники якості вихідної води та очищеної води за допомогою модульної установки. Вихідна вода відбиралась на території Снігурівської міської територіальної громади Миколаївської області.



Таблиця 1.1 – Показники якості води до та після очищення на модульній установці

Показник якості	Одиниці виміру	Вихідна вода	Очищена вода	Норма ДСанПіН2.2.4-171-10
Нітрати	мг/дм <sup>3</sup>	35,00	0,01	<50
Загальна жорсткість	мг-екв/дм <sup>3</sup>	31,00	1,10	<7
Сухий залишок	мг/дм <sup>3</sup>	2931,00	150,00	<1000
Хлориди	мг/дм <sup>3</sup>	804,00	85,45	≤250
Сульфати	мг/дм <sup>3</sup>	1088,00	100,60	≤250

З наведеної таблиці видно, що вода після очистки відповідає вимогам ДСанПіН2.2.4-171-10 та готова для споживання в якості питних цілей. Розроблена система водопідготовки здійснює повну очистку води (тонку очистку, механічну очистку, демінералізацію, знезараження) та забезпечує водопостачання в автоматичному режимі. Установа складається із головного модуля готової будівельної конструкції, з розміщеним всередині усім необхідним технологічним устаткуванням та вузла водозабору вхідної води.

**Висновок.** Розробка мобільної установки вітчизняного виробництва для очищення води є важливим кроком для забезпечення населення чистою водою у будь-яких умовах, включаючи надзвичайні ситуації та віддалені регіони. Це рішення є економічно ефективним, екологічним та технологічно доцільним. Вітчизняне виробництво таких установок не лише підвищить рівень водозабезпечення в Україні, але й сприятиме розвитку промисловості та підвищенню експортного потенціалу країни.

#### Перелік джерел інформації

1. World development report 2011: Conflict, security, and development. Washington, DC: World Bank. URL: <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/4389>
2. Чорна Т., Гусятинська Н. Сучасні ризики та проблеми питного водопостачання в Україні. *Перспективи майбутнього та реалії сьогодення в технологіях водопідготовки*: Матеріали IV Міжнародної науково-практичної конференції, 25-26 жовтня 2022 р., Київ: НУХТ, 2022. С. 146-149.
3. Membrane Solutions WS02 Survival Emergency Straw Water Filter. MSPure By Membrane Solutions. URL: <https://www.mspurelife.com/products/personal-water-filter-straw-1> (дата звернення: 22.10.2024).
4. Kärcher WTC 700. Mobile Systeme für Ihren Einsatz | Kärcher Futuretech. URL: <https://www.karcher-futuretech.com/en/products/mobile-water-supply/mobile-water-treatment-plants/mobile-reverse-osmosis-systems/wtc-700-10372010.html> (дата звернення: 22.10.2024).
5. Kärcher WTC 8000/15000 RO/UF C. Mobile Systeme für Ihren Einsatz | Kärcher Futuretech. URL: <https://www.karcher-futuretech.com/en/products/mobile->

УДК 546

**Розробка методики концентрування та визначення Бісмуту у воді  
з використанням краун-етерів**

**<sup>1</sup>Олег Кроніковський, <sup>2</sup>Наталія Стаднічук**

<sup>1</sup>Національний університет харчових технологій

<sup>2</sup>ДП «Науковий центр превентивної токсикології, харчової та хімічної безпеки імені академіка Л. І. Медведя Міністерства охорони здоров'я України», м. Київ

**Вступ.** Бісмут — малопоширений елемент. Фізіологічна роль Бісмуту недостатньо вивчена. Насьогодні доведено, що Бісмут індукує синтез низькомолекулярних білків, бере участь у процесах осифікації, утворює внутрішньоклітинні включення вепітелії ниркових каналців. Проявами токсичної дії Бісмуту можуть бути зниження пам'яті, безсоння, аритмія, поява темної облямівки навколо ясен, пігментація слизової оболонки ясен і порожнини рота, бісмутові дерматит, стоматит, фарингіт, утруднення ковтання, нудота. Імовірність потрапляння токсичних доз вісмуту в організм із водою або їжею незначна. Переважно це є можливим при довготривалому системному або місцевому застосуванні лікарських препаратів, до складу яких входить Бісмут. У нормі концентрація Бісмуту в організмі не перевищує декількох мікрограм на літр. У крові  $<3$  мкг/л, у кістках  $<0,2$  мкг/г, у нирках —  $0,4 \pm 0,1$  мкг/г. Дослідженню комплексоутворення в системі  $\text{Bi}^{3+}$ – 18-краун-6 –  $\text{CCl}_3\text{COOH}$  з метою встановлення можливості використання її для селективного екстракційного вилучення та послідовного атомно-абсорбційного визначення Бісмуту присвячена дана робота.

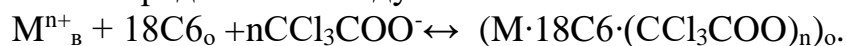
**Матеріали і методи.** Розчини краун-етерів (“Aldrich”) готували за точною наважкою, вихідні розчини нітратів металів “х.ч.” стандартизували титрометрично. Розчин трихлорацетатної кислоти стандартизували рН-метричним титруванням. Вміст Бісмуту в водній та органічній фазах визначали на атомно-абсорбційному спектрофотометрі “Сатурн-3П-1” (полум'я пропан-бутан – повітря). Кислотність розчинів контролювали на рН-метрі ЭВ-74 зі скляним електродом.

**Результати.** В літературі Відсутні дані про екстракцію комплексів Бісмуту з краун-етерами. Причиною цього є, ймовірно, гідроліз  $\text{Bi}^{3+}$ , із-за якого в області рН 3 – 5, оптимальної для екстракції комплексів з органічними аніонами, Бісмут знаходиться в вигляді гідроксиду. Нам не вдалося підібрати умови для екстракції  $\text{Bi}^{3+}$  із нітратних розчинів в відсутності трихлорацетат-йонів. В той же час в присутності 18-краун-6 і  $\text{CCl}_3\text{COOH}$  Бісмут може бути кількісно переведений в органічну фазу.

Визначені нами умовні константи стійкості трихлорацетатних комплексів Бісмуту мають значення:  $\beta_1 = 5 \pm 1$ ;  $\beta_2 = 3 \pm 1$ . Враховуючи гідроліз Бісмуту при рН 1, отримуємо оціночні значення концентраційних констант:

$\beta_1 = 13 \pm 3$ ;  $\beta_2 = 8 \pm 3$ . Для одно- та двозарядних катіонів металів константи стійкості трихлорацетатів, ймовірно, ще нижчі. Комплекс Бісмуту з 18С6 в воді нестійкий; металіндикаторним методом з КО вдалося лише оцінити значення константи:  $\lg\beta < 1 - 2$ .

Виходячи з сказаного, екстракцію трихлорацетатів металів в присутності 18С6 можна представити слідуючим чином:



Завдяки досить високому значенню  $K_{екс}$  комплексу  $Bi \cdot 18C6 \cdot (CCl_3COO)_3$  та його кількісному вилученню в області рН 1 – 3 з водного розчину хлороформом, що дозволяє селективно відділити  $Bi^{3+}$  від ряду катіонів двозарядних металів, які заважають його атомно-абсорбційному визначенню (наприклад, наявність в кінцевому об'ємі 1 мг  $Cu^{2+}$  (лінія 222,6 нм) значно знижує аналітичний сигнал  $Bi^{3+}$  за лінією 223,1 нм), нами розроблена методика екстракційно-атомно-абсорбційного визначення Бісмуту.

В ділільну лійку приливають 2,5 мл 5 М розчину  $CCl_3COOH$ , 2 мл 0,25 М водного розчину 18С6 та аліквотну частину досліджуваного розчину (< 5,5 мл), що містить 5 – 100 мкг  $Bi^{3+}$ . Розбавляють водну фазу до 10 мл дистильованою водою, прибавляють 10 мл хлороформу і екстрагують протягом 1 – 2 хвилин. Органічну фазу переносять в мірну колбу ємністю 25 мл, розбавляють до мітки спиртом (метанол, етанол, ізопропанол) і визначають вміст Бісмуту атомно-абсорбційним методом при довжині хвилі 223,1 нм. Результати визначення  $Bi^{3+}$  приведені в таблиці.

*Таблиця. – Результати визначення Бісмуту в присутності нітратів металів (введено 10,5 мкг/мл  $Bi^{3+}$ , n = 4)*

Сторонній метал	$C_{Me} : C_{Bi}$	Знайдено $Bi$ , мкг/мл	s, мкг/мл
-	-	10,4	0,3
Fe(III)	40	9,4	0,4
Cu(II)	2000	9,9	0,4
Zn	2000	9,4	0,5
Pb(II)	40	9,2	0,5
Cd	2000	10,1	0,5
Ni(II)	2000	10,0	0,4
Co(II)	2000	10,2	0,4

Як видно з таблиці, методика дає результати, що характеризуються достатньою відтворюваністю та точністю. Досить великі концентраційні надліміри ряду металів практично не створюють фактичного впливу на результати визначення Бісмуту. Методика проста в виконанні, експресна і може бути успішно використана в аналітичній практиці.

**Висновки.** Досліджено умови та вивчено механізм комплексоутворення  $Bi^{3+}$  з 18-краун-6 та  $CCl_3COOH$ , встановлено склад та стійкість утворюваних комплексів в воді і органічних розчинниках. Проаналізовано фактори, що

впливають на комплексоутворення. Підібрані умови кількісної і разом з тим селективної екстракції комплексу  $\text{Bi} \cdot 18\text{C}6 \cdot (\text{CCl}_3\text{COO})_3$  хлороформом. Запропонована методика екстракційного вилучення та послідууючого атомно-абсорбційного визначення Бісмуту у воді та інших об'єктах.

УДК 628.16

**Альтернативні способи знезараження води технологічного призначення**  
**Василь Сидор**  
*Національний університет харчових технологій, Київ, Україна*

**Вступ.** Знезараження води технологічного призначення вважається одним із основних етапів забезпечення її мікробіологічної чистоти і зменшення ризиків виникнення небезпечних факторів на технологічних стадіях виробництва харчового продукту. На сьогоднішній день переважна більшість відділень підготовки води для її знезараження використовують рідкий хлор. Однак відомо, що хлор може вступати у реакцію з органічними речовинами води і утворювати нові сполуки які несуть ризики для здоров'я людини.

**Матеріали і методи.** Альтернативою застосування рідкого хлору для знезараження води технологічного призначення пропонується використання діоксиду хлору. З метою визначення впливу залишків хлору у воді, обробленій діоксидом хлору, на органічні речовини, були проведені випробування на модельних зразках води

**Результати.** Оператори ринку як правило використовують воду з декількох джерел водопостачання, а саме міські водопровідні мережі і артезіанські свердловини. Тому при запровадженні способу обробки води діоксидом хлору виникає проблема сумісності води обробленої діоксидом хлору і вже хлорованої води централізованого постачання. Результати показали, що наявність у воді технологічного призначення залишків активного хлору у кількості 0,2-0,8 мг/дм<sup>3</sup> при обробленні її діоксидом хлору у кількості 0,4 мг/дм<sup>3</sup> не призводить до перевищення допустимих концентрацій хлоритів. Одержані результати підтверджують, що використання діоксиду хлору для знезараження води технологічного призначення є повністю сумісним з традиційними способами хлорування.

Крім технологічних аспектів використання діоксиду хлору для обеззараження води технологічного призначення, також існують проблеми економічного та технічного характеру. Вони викликані тим, що діоксид хлору це газоподібна речовина, фізичні властивості якого дозволяють використовувати його у зрідженому або стисненому стані. Крім цього діоксид хлору є нестійка речовина, тому виникають труднощі при його зберіганні. З цією метою розроблені генератори, які виробляють його на місці використання. Процес генерації діоксиду хлору ґрунтується на реакції двох рідин за формулою



В результаті реакції утворюється діоксид хлору, який залишається розчиненим у воді, що дозволяє зручно і тривалий час використовувати його за призначенням. За допомогою спеціального генератора діоксид хлору може безпосередньо на місці і без великих затрат виготовлятися з інгредієнтів на основі соляної кислоти та хлориду натрію. Кількість виготовленого діоксиду хлору можна легко за допомогою соленоїдних дозуючих насосів, якими можна управляти як в ручному так і в автоматичному режимі пропорційно використанню води технологічного призначення.

Необхідно відзначити, що широке застосування використання діоксиду хлору для обеззараження води технологічного призначення, неминуче призведе до впровадження вітчизняних виробників хлориту натрію і зниження його вартості.

**Висновки.** Таким чином, доведено, що за умови технічно обгрунтованого підбору технологічних прийомів знезараження води технологічного призначення, використання альтернативних по відношенню до рідкого хлору компонентів вигідне не лише з технологічної, але і з економічної точки зору.

### **Розробка установки очищення води для індивідуального користування в екстремальних умовах**

**Максим Бажал , Олена Кушнір, Тетяна Кучма, Річард Марііта**  
*Неприбуткова організація UV4Good, США, Чикаго*

Доступ до чистої питної води є одним з основних невід'ємних прав людини. Існує багато факторів, через які це право порушується: війни, техногенні та природні катастрофи, перебування у віддалених районах (наприклад, туризм, експедиції) тощо. Війна, що триває в Україні, зруйнувала і продовжує руйнувати водопровідні та електромережі, що позбавляє мільйони мирних жителів доступу до питної води та електроенергії. Постачання очищеної води, зокрема бутильованої, утруднено через великі площі постраждалих територій та зруйновані шляхи сполучення. Люди, що мешкають у постраждалих районах, найчастіше вимушені користуватися водою з відкритих джерел на кшталт озер, річок, струмків, старих колодязів і навіть стічною дощовою водою. Але така вода може містити механічні домішки (пісок, ґрунт, листя, іржу), забруднення хімічного і органічного походження, патогенні мікроорганізми тощо.

Існуючі установки та засоби очищення води є або занадто простими і неефективними, або технічно складними, які вимагають наявності досить потужного електропостачання та специфічних компонентів, внаслідок чого ними неможливо користуватися в індивідуальному порядку в екстремальних і похідних умовах. Крім того, для якісного підбору обладнання для очищення води необхідно, як відомо, провести порівняльний аналіз води – як хімічний, так і мікробіологічний. Але зазвичай неможливо зробити такі аналізи в надзвичайних ситуаціях.

На підставі цього можна сформулювати основні принципи створення індивідуальної мобільної установки очищення води в екстремальних умовах:

- Індивідуальне використання: для окремих осіб, групи або сім'ї
- Мобільність: установку може переносити одна доросла людина
- Енергонезалежність/енергоуніверсальність: можливість підключення АКБ, павербанка, генератора, зарядної станції та звичайної мережі;
- Низьке енергоспоживання: мінімальне споживання для меншої залежності від наявних потужностей і максимальної тривалості роботи установки
- Продуктивність: установка має очищувати воду в необхідній кількості (хоча би кілька літрів на день) за короткий проміжок часу (1-2 години)
- Універсальність: максимальне очищення і знезараження води з будь-якого джерела за відсутності хімічного та мікробіологічного аналізів.
- Доступність запчастин: змінні елементи та основні компоненти мають бути надійними, невибагливими, доступними на місцевому ринку, з тривалим терміном дії.

Для роботи над проектом було зареєстровано неприбуткову організацію UV4Goody грудні 2023 року. Було відкрито кампанію збору пожертв, а також отримано грант Seedна розвиток від IFT(InstituteofFoodTechnologists, Chicago, USA).

На отримані кошти в Україні було розроблено пілотні мобільні установки очищення води, в яких вода проходить механічне очищення в фільтрі та ультрафільтрі і знезаражується в світлодіодному ультрафіолетовому опромінювачі UVCKlapan з довжиною хвилі 265 нм. Для посилення ефекту очищення і знезараження, до брудної води перед її обробкою додавався дезинфікуючий коагулянт Аквадон-10 від українського виробника. Прокачування води здійснювалося у двох варіантах: (1) - за допомогою садового оприскувача і (2) – з використанням електричного насоса 12 В постійного струму. Продуктивність установки складає до 2 л/хв, номінальна потужність 12 Вт у варіанті з ручним оприскувачем і 36 Вт у моделі з електронасосом. Живлення здійснюється від власного акумулятора 12 В з можливістю підключення до електромережі, генератора, павербанка та бортової мережі автомобіля 12 В.

Тестування установки проводилося з використанням води з найзабрудненіших джерел Бучанського району: річок Ірпінь і Бучанка, озера Кар'єр і місцевого болота. Мікробіологічні аналізи показали зменшення загального мікробного числа в зразках води на  $10^3$ - $10^6$  КУО/см<sup>3</sup>.

Для поглибленого очищення води застосовувалися різні комбінації картриджів з активованим вугіллям, для знезалізнення, видалення органічних сполук та ін. Проведені дослідження показали високу ефективність і перспективність запропонованої моделі установки для очищення води в екстремальних умовах. Тривають додаткові випробування для визначення найбільш ефективного технічного рішення щодо досягнення показників якості питної води відповідно норм українського законодавства. Це інноваційне рішення дає надію тим, хто потребує доступу до безпечної питної води, і може значно принести користь

громадам, які постраждали від війни та техногенних аварій як в Україні, так і в усьому світі.

УДК 628.1+579.22

**Вплив хімічних та мікробіологічних показників природних вод на ефективність знезараження *Escherichiacolita Candida albicans* екологічно безпечними реагентами**

**Людмила Мельник, Олена Болгова, Ганна Ульянова**

*Інститут колоїдної хімії і хімії води ім. А.В. Думанського НАН України,  
м. Київ, Україна*

**Вступ.** Знезараження є фундаментальним етапом очищення питної води, який забезпечує інактивацію присутніх у воді патогенних організмів. Однією із серйозних проблем знезараження з використанням сполук хлору, є утворення небезпечних для здоров'я людини побічних продуктів обробки – тригалогенметанів (ТГМ), галогеноцтових кислот (ГОК) тощо, які спричиняють цитотоксичну, мутагенну, тератогенну і канцерогенну дії [1, 2]. Діоксид хлору безпосередньо не призводить до утворення хлорованих органічних сполук, однак, нещодавно було показано, що він утворює хлор *in situ*, який, у свою чергу, може утворювати хлоровані побічні продукти знезараження, хоча і в значно меншій кількості, ніж при використанні  $Cl_2$  [2, 3]. У випадку використання знезаражуючих агентів, що не містять хлору (озон –  $O_3$ , феррат –  $Fe(VI)$ , перманганат –  $Mn(VII)$ ) за наявності у воді бромідів можливе утворення бромованих побічних продуктів знезараження, що значно підвищує токсичність обробленої води [2].

Враховуючи вищесказане, надзвичайно актуальним є пошук альтернативних екологічно-безпечних способів інактивації патогенних мікроорганізмів у питній воді. Нами вперше встановлена можливість знезараження *Escherichiacoli* (*E.coli*) у воді з використанням "зеленого" реагента –  $CO_2$  при низькому тиску (0,05-0,20 МПа) в діапазоні температур 14-42°C [4]. Показано, що інактивація *E.coli* в дистильованій воді досягає 4,0-5,5-log порядків (початкове бактеріальне навантаження  $1,3 \cdot 10^4$ - $9,0 \cdot 10^5$  КУО/см<sup>3</sup>) через 5 діб з моменту обробки та витримки при заданому тиску при всіх досліджуваних значеннях тиску та температури

Однак, як було показано нами далі в дослідженні [5], знезараження *E.coli* в процесі обробки природної води гідрокарбонатного типу вуглекислим газом низького тиску (0,2 МПа) при температурах 14-37°C є менш ефективним у порівнянні зі знезараженням у дистильованій воді. Виявлено, що при вихідному навантаженні культури  $1,3 \cdot 10^5$ - $9,0 \cdot 10^5$  КУО/см<sup>3</sup> у воді бювету ступінь знезараження *E.coli* на 6 добу спостереження становить лише 1,2; 2,3 та 2,7 логарифмічних порядки при температурі, відповідно, 14, 22 та 37° С. Для

підвищення ефективності знезараження *E.coli* у природній воді гідрокарбонатного типу вуглекислим газом низького тиску нами запропоновано використання сумісної дії CO<sub>2</sub> та хітозану.

Метою даної роботи є дослідження ефективності сумісної дії CO<sub>2</sub> та хітозану в процесі знезараження *E.coli* та *Candida albicans*(*C. Albicans*) в реальних водах різного хімічного складу з метою створення наукових засад для широкого практичного використання запропонованого методу знезараження води екологічно-безпечними реагентами.

**Матеріали та методи.** В дослідженні використовували природні водозмішаного хлоридно-сульфатного-гідрокарбонатного типу (бювети м. Києва, червень-жовтень 2023 р.), склад яких наведено у таблиці 1, а також воду річки Дніпро.

Таблиця 1 – **Основні хімічні показники природних вод (бювети м. Києва), використаних у дослідженні**

Хімічний показник	Вул. Героїв Дніпра, 22а БВ1	Вул. Курилівська, 99 БВ2	Вул. Бальзака, 65/63 БВ3
рН	7,7	7,6	7,8
Загальний солевміст, мг/дм <sup>3</sup>	612,2	515,0	978,2
Жорсткість, мг-екв/дм <sup>3</sup>	2,8	3,9	1,8
Лужність, мг-екв/дм <sup>3</sup>	5,5	5,4	5,7
Гідрокарбонат, мг/дм <sup>3</sup>	336,0	329,0	348,0
Сульфат, мг/дм <sup>3</sup>	16,8	16,8	5,0
Хлорид, мг/дм <sup>3</sup>	80,5	18,5	300,0
Калій, мг/дм <sup>3</sup>	17,3	15,6	19,0
Натрій, мг/дм <sup>3</sup>	112,0	45,0	275,0

Крім того, мікробіологічний аналіз показав наявність у першому із вказаних джерел (БВ1) значну кількість гетеротрофних мікроорганізмів: загальне мікробне число (ЗМЧ) при t = 22°C складало 0,8·10<sup>3</sup> - 7,0·10<sup>3</sup> КУО/см<sup>3</sup>. Перед початком експериментів у природну воду бюветів вносили необхідну аліквоту суспензії мікроорганізмів *E.coli* або *C. albicans*. Схему установки для обробки води вуглекислим газом та методику проведення експериментів наведено у [4, 5]. В дослідженні використовували високомолекулярний хітозан (молекулярна маса (Mw) 300кДа, ступінь деацетилювання 95%). Воду р. Дніпро використовували без додавання суспензії мікроорганізмів.

**Результати.** Встановлено, що повне знезараження *E.coli* (початкова навантаження культури у воді 1,0·10<sup>5</sup> - 4,3·10<sup>5</sup> КУО/см<sup>3</sup>) досягається при сумісній дії CO<sub>2</sub> (0,2 МПа) та ХТЗ (1 мг/дм<sup>3</sup>) та тривалості витримки обробленої води 6-14 діб при температурі 20-23°C. Аналіз одержаних результатів, а також їх порівняння з отриманими раніше даними по знезараженню *E.coli* в бюветній воді гідрокарбонатного типу свідчить про те, що загальний солевміст води практично не впливає на процес знезараження, тоді як наявність у воді значної



кількості гетеротрофних мікроорганізмів вимагає більш тривалої (> 6 діб) обробки для досягнення повної інактивації санітарно-показового мікроорганізму. Показано, що повне знезараження *S. albicans* (початкова навантаження культури у воді  $2,3 \cdot 10^4$  -  $1,1 \cdot 10^5$  КУО/см<sup>3</sup>) досягається при сумісній дії CO<sub>2</sub> (0,2 МПа) та ХТЗ (1 мг/дм<sup>3</sup>) та тривалості витримки обробленої води 24 години (1 доба) при температурі 13-16 °С.



$N_0 = 1,1 \cdot 10^5$  КУО/см<sup>3</sup>;  $t = 10-13$  °С;  $P = 0,2$  МПа;  $C_{ХТЗ} = 1,0$  мг/дм<sup>3</sup>

**Рисунок. Кінетика знезараження мікроскопічного гриба *S. albicans* в природній воді БВЗ (таблиця) в контрольному експерименті (1) та при дії: CO<sub>2</sub> (2), високомолекулярного ХТЗ (3), CO<sub>2</sub> та високомолекулярного ХТЗ (4)**

При індивідуальній дії вуглекислого газу чи ХТЗ повне знезараження *S. albicans* не спостерігається навіть через 14 діб витримки обробленої води. Одержані результати підтверджують виявлений нами раніше (при дослідженні реальних вод гідрокарбонатного типу) синергічний ефект дії CO<sub>2</sub> та ХТЗ в процесі знезараження *E. coli* та *S. albicans*. Дослідження процесу знезараження води р. Дніпро (вміст *S. albicans* – 24 КУО/см<sup>3</sup>, ЗМЧ при  $t = 37$  °С – 120 КУО/см<sup>3</sup>) показало, що повне знезараження *S. albicans* при сумісній дії вуглекислого газу та хітозану відбувається через 24 години, при цьому також зменшується ЗМЧ (до 60 КУО/см<sup>3</sup>), що відповідає вимогам до якості питної води.

**Висновок.** Отримані в даній роботі результати можуть бути використані при розвитку нових стратегій підготовки питної води з природних джерел з метою уникнення утворення побічних токсичних продуктів в процесі обробки та гарантування високої якості і безпеки питної води.

#### Джерела інформації

1. Srivastava A. L., Patel N., Chaudhary V. K. Disinfection by-products in drinking water: Occurrence, toxicity and abatement. *Environmental Pollution*. 2020. 267. 115474–.doi:10.1016/j.envpol.2020.115474.

2. Rougé V., von Gunten U., Lafont-de-Sentenac M., Massi M., Wright P. J., Croue J., Allard S. Comparison of the impact of ozone, chlorine dioxide, ferrate and permanganate pre-oxidation on organic disinfection byproduct formation during post-chlorination. *Environ. Sci.: Water Res. Technol.* 2020. DOI: 10.1039/D0EW00411A.

3. Rougé V., Allard S., Croué J.-P., von Gunten U. In Situ Formation of Free Chlorine During ClO<sub>2</sub> Treatment: Implications on the Formation of Disinfection By-products. *Environ. Sci. Technol.* 2018. 52. P. 13421-13429.

4. Goncharuk V. V., Saprykina M. N., Bolgova E. S., Melnyk L. O., Remez S. V. Estimation of efficiency of water disinfection and preservation with low-pressure CO<sub>2</sub> using *Escherichia coli*. *Desalination and Water Treatment*. 2022. V. 258. P. 190-196.

5. Саприкіна М., Болгова О., Мельник Л., Гончарук В.. Знезараження природних вод екологічно-безпечними реагентами. Матеріали IV Міжнародної науково-практичної конференції “Перспективи майбутнього тереалії сьогодення в технологіях водопідготовки” (25-26 жовтня 2022 р.). Київ: НУХТ 2022. С. 16-19.

UDC 543.42

### **Application of laser-induced breakdown spectroscopy (LIBS) for water quality monitoring**

**Iryna Goncharova<sup>1,2</sup>, Dominique Guichaoua<sup>1</sup>, Bouchta Sahraoui<sup>1</sup>**

*University of Angers, UMR CNRS, Angers, France*

*State University of Trade and Economics, Kyiv, Ukraine*

**Introduction.** Water from natural sources is a complex dispersed system containing many various elements, organic and inorganic compounds, the composition and ratio of which are determined by the conditions of its formation. The quality of water is defined by the chemical, physical-chemical, biological properties that determine water suitability for certain uses [1].

Providing the population with clean drinking water is a priority task around the world. The problems with the supply of safe water are caused both by its ever-increasing consumption and high requirements for water quality against the background of the growing level of water pollution according to WHO [2].

This problem is most acute today during the hostilities in Ukraine. Missile strikes not only affect people, animals, and infrastructure but also the environment. First, the level of heavy metal ions, organic and inorganic contaminants in natural resources increases significantly. Therefore, during martial law and post-war recovery in Ukraine, the systematic and comprehensive monitoring of natural water quality is a critical part for environmental management and protection.

For water quality evaluation, the general focus is on the detection of the levels of heavy metals ions, total phosphorus, total nitrogen, chemical oxygen demand, total organic carbon, and permanganate salt presented in a water sample. It is known that most of the current detection techniques are based on the traditional optical and mass spectroscopy measurements require long detection cycle, and some of them need the use of specific chemicals which may cause secondary pollutions [3].

Laser-induced breakdown spectroscopy (LIBS) is a novel atomic emission spectroscopic technique used to determine the elemental composition of a sample by analyzing the spectrum of light emitted by a laser-induced plasma. This method is

used in ecology, medicine, pharmacology, agriculture, commodity science etc. LIBS has several advantages, including no need or a little sample pre-treatment, fast and easy operation, chemicals free during the process and can identify multi-state substances simultaneously, rapidly and remotely[4].

**Materials and methods.** Experimental LIBS system includes five main components. These are the sample holder, the laser source, the optical path, the spectrometer, and the data analysis unit. For the first series of experiments, we built setup for the single-pulse LIBS consists of Q-switched Nd:YAG high-power laser Continuum Minilite with a pulse duration of 10-15 ns, a repetition rate of 10 Hz, a maximum pulse energy of 850 mJ, and output at the wavelength of 1064 nm with the USB 4000 Ocean Optics Spectrometer. To improve the detection sensitivity, it was conducted CR-SENLIBS for the detection of heavy metal ions ( $\text{Pb}^{2+}$ ,  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Cd}^{2+}$ , and  $\text{Cr}^{3+}$ ) in aqueous solutions on aluminum alloy as the substrate.

For LIBS experiments we focused on the application of LIBS for the detection of heavy metals in water and used of 500  $\mu\text{g}/\text{mL}$  NaCl as a reference solution.

A series of experiments was prepared using LIBS for the determination of Pb, Cu, Cd, and Cr in model solutions. Unitary solutions (500  $\mu\text{g}/\text{mL}$   $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ ,  $\text{CuCl}_2$ ,  $\text{CdCl}_2$ , and  $\text{CrCl}_3$ ) were prepared by dissolving the given amounts of each analytical reagent in distilled water, respectively. To compare with the LODs of unitary solutions, a mixed solution which contains the 500  $\mu\text{g}/\text{mL}$   $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ ,  $\text{CuCl}_2$ ,  $\text{CdCl}_2$ , and  $\text{CrCl}_3$  was prepared. Seven standard solutions were prepared by diluting the above solutions with distilled water, respectively. The overall concentrations of  $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ ,  $\text{CuCl}_2$ ,  $\text{CdCl}_2$ , and  $\text{CrCl}_3$  in the standard solutions, as well as their mixture, were 2.5, 5, 10, 20, 30, 40, and 50  $\mu\text{g}/\text{mL}$ . Standard solutions of  $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ ,  $\text{CuCl}_2$ ,  $\text{CdCl}_2$ , and  $\text{CrCl}_3$  were dropped into Al alloy plates and dried on aluminum foils.

**Results.** LIBS spectra containing information on all elements were collected after microplasma generation. On the basis of LIBS spectra for model solutions of  $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ ,  $\text{CuCl}_2$ ,  $\text{CdCl}_2$ , and  $\text{CrCl}_3$  the values of the wavelength were selected and the calibration curves were constructed. LIBS spectra were compared with theoretical LIBS database NIST of American National Institute of Standard and Technology. The content of heavy metals, such as Pb, Cu, Cd, and Cr in natural water samples of Angers (the rivers Loire and Maine, the lake Maine) was calculated.

**Conclusions.** Therefore, by investing in water quality monitoring and using advanced technology, as LIBS, it is possible better manage and protect the water resources, which are essential for public health, agriculture, and economic development. Our main goal is to help in creation of environmental sensors to assess and improve the availability and quality of natural water, which are necessary and crucial for health and wellbeing in general around the world and particularly for Ukraine in this especially difficult period of war.

**Acknowledgements.** This work was supported by the French programs for Ukrainian scientists “Pause Solidarity for Ukraine”, “Pause-ANR Ukraine” and researchers from the Photonics Laboratory LPHIA, SFR MATRIX, University of Angers, France, under the scientific guidance of Prof. Bouchta Sahraoui.

## Information sources list

1. Westall F., Brack A. The importance of water for life. *Space Science Reviews*. 2018. Vol. 214, N. 50. 23 pages.
2. Guidelines for drinking-water quality: fourth edition incorporating the first and second addenda. Geneva: World Health Organization; 2022. Licence: CC BY-NC-SA 3.0 IGO, 584 p.
3. Yu X., Li Y., Gu X., Bao J., Yang H., Sun L. Laser-induced breakdown spectroscopy application in environmental monitoring of water quality: a review. *Environ Monit Assess*. 2014. Vol. 186. P. 8969–8980.
4. Goncharova I., Guichaoua D., Taboukhat S., Tarbi A., Chtouki T., Erguig H., Sahraoui B. Laser-induced breakdown spectroscopy application for heavy metals detection in water: A review. *Spectrochimica Acta Part B: Atomic Spectroscopy*. 2024. Vol. 217, 106943.

## **СЕКЦІЯ 3**

# **ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ПРОЦЕСІВ ПІДГОТОВКИ ПИТНОЇ ВОДИ. ФІЗИКО-ХІМІЧНІ ТА БІОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ОЧИЩЕННЯ ПИТНОЇ ВОДИ**

**Композитний сорбент на основі клиноптилоліту та магнетиту для вилучення  $^{137}\text{Cs}$  та  $^{90}\text{Sr}$  з водних розчинів****Світлана Кобець, Олександр Косоруков, Галина Пшинко***Інститут колоїдної хімії та хімії води ім. А.В. Думанського НАН України, Київ, Україна*

**Вступ.** Пошук, розробка нових і вдосконалення існуючих методів та сорбційних матеріалів для вилучення радіонуклідів (РН) цезію та стронцію з водних середовищ є актуальним та пріоритетним напрямком наукових досліджень у зв'язку з загостренням радіоекологічних проблем, викликаних накопиченням і поширенням радіоактивного забруднення в довкіллі. Останнім часом особлива увага вчених приділяється розробці магнітних сорбентів, основною перевагою яких є спрощена технологія їх відокремлення від розчину методом магнітної сепарації. Видалення РН з водних середовищ все ще залишається пріоритетним завданням екологічної безпеки. Відомо, що для  $^{137}\text{Cs}$  та  $^{90}\text{Sr}$  ( $T_{1/2} \approx 30$  і  $29$  р., відповідно) властива висока міграційна здатність, інтенсивна біоаккумуляція за участю транспортних систем кальцію та калію, відповідно (мають близькі радіуси гідратованих іонів,  $\text{nm}:r_{\text{Cs}} \approx r_{\text{K}} \approx 0.23$ ;  $r_{\text{Sr}^{2+}} \approx r_{\text{Ca}^{2+}} \approx 0.42$ , що сприяє їх легкому засвоєнню живими організмами.

Нами запропоновано високоефективні та високоселективні сорбенти на основі шаруватих подвійних гідроксидів, інтеркальованих органічними та неорганічними лігандами (карбоксилат- та гексаціаноферат-іонами), їх магнітних композитів, які на сьогодні виявилися одними з найефективніших сорбентів для вилучення широкого спектру неорганічних екотоксикантів катіонної та аніонної природи з водних середовищ мультикомпонентного складу, зокрема низькоактивних рідких радіоактивних відходів (РРВ) з підвищеним солевмістом[1]. Запропоновано також калій-цинковий гексаціаноферат з магнітними властивостями для вилучення  $\text{U(VI)}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{90}\text{Sr}$  та  $\text{Cu(II)}$ ,  $\text{Co(II)}$ ,  $\text{Cd(II)}$ ,  $\text{Ni(II)}$ . Особливо високоефективним та селективним він виявився щодо  $^{137}\text{Cs}$  при швидкій кінетиці сорбції –  $K_d = (0,5 \div 2,5) \cdot 10^5 \text{ см}^3/\text{г}$ , що відповідає рівню кращих світових аналогів[2].

Варто зазначити, що при створенні магнітних сорбентів вибір речовини-матриці (основний компонент, зв'язаний з магнітоактивною складовою) визначається не лише параметрами сорбції, а також враховується економічний аспект, особливо коли розглядається можливість застосування сорбційного матеріалу для дезактивації великих об'ємів радіоактивно забруднених вод. У цьому випадку доцільніше використовувати природні сорбційні матеріали (глинисті мінерали, цеоліти та ін.), які, завдяки наявності великих освоєних родовищ, є відносно недорогими і доступними.

**Матеріали і методи.** У даній роботі запропоновано сорбент на основі клиноптилоліту та магнетиту ( $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{Кл}$ ). Композитний сорбент був отриманий на основі очищеного і переведеного в Na-форму клиноптилоліта Сокирницького родовища і магнетита (обмінна ємність отриманої Na-форми цеолітової породи

становила 1,07 мг-екв/г). Визначення концентрації іонів  $Cs^+$  та  $Sr^{2+}$  проводили на атомно-абсорбційному спектрофотометрі С-115-М1 при довжині хвилі  $\lambda = 852,1$  і 460,7 нм, відповідно, а при використанні міток  $^{137}Cs$  та  $^{90}Sr$  – радіометричним методом за сумарною  $\beta$ -активністю на  $\beta$ -радіометрі КРК-1-01А.

**Результати.** Рентгенофазовий аналіз показав, що основним мінералом у складі досліджуваної цеолітової породи є клиноптилоліт із домішками кварцу і слюди ~10 і 2 %, відповідно. На рентгенограмі сорбенту поряд з дифракційними лініями клиноптилоліту, кварцу, гідрослюд з'явилися лінії, характерні для магнетиту ( $d = 4,86; 2,973; 2,526 \text{ \AA}$ ).

Дослідження процесів сорбції на прикладі  $^{90}Sr$  показали, що максимальні значення  $K_d$  досягаються в області рН 6÷9, що вказує на домінуючу роль поверхневих сорбційних центрів композиту. Для  $Fe_3O_4/Кл$  значення  $K_d$  дещо нижчі, ніж для Кл, що зумовлено, ймовірно, частковим блокуванням сорбційних центрів алюмосилікатної матриці у результаті осадження магнетиту на поверхні Кл.

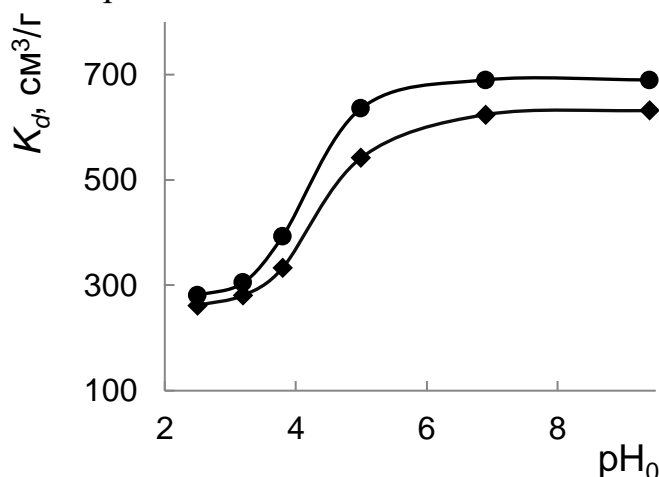


Рис. 1. Вплив рН водного розчину на сорбцію  $^{90}Sr$  ( $A_{Sr-90} = 5 \cdot 10^3 \text{ Бк/дм}^3$ ,  $t_{\text{сорб.}} = 1$  год.,  $I_{NaCl} = 0,01$ ). • – Кл; ♦ –  $Fe_3O_4/Кл$

У табл. представлено результати впливу тривалості сорбції на  $K_d^{137}Cs$  та  $^{90}Sr$ . Встановлено, що для досягнення рівноваги в системі з використанням досліджених сорбентів необхідна досить тривала сорбція (протягом декількох діб), яка лімітується, ймовірно, внутрішньою дифузією у мікропористу структуру цеоліту – пористі і канали, утворені їх тетраедричними кільцями  $(Si, Al)O_4$ . Саме пориста відкрита мікротекстура цеолітів визначає їхні так звані «молекулярно-ситові» адсорбційні властивості.

Таблиця. Вплив тривалості сорбції на  $K_d^{137}Cs$  та  $^{90}Sr$  композитом  $Fe_3O_4/Кл$  (рН<sub>0</sub>6,  $A_{Sr-90}, A_{Cs-137} = 5 \cdot 10^3 \text{ Бк/дм}^3$ )

Час сорбції, год	$K_d$ , см <sup>3</sup> /г	
	$^{137}Cs$	$^{90}Sr$
0,5	1100	900
1	2550	1600
6	3960	3560
12	6150	4740
24	8970	5600

У внутрішньокристалічному просторі цеолітів існує система сполучених між собою мікропорожнин, у яких знаходяться обмінні катіони і молекули кристалогідратної («цеолітної») води. Враховуючи вищеописані дані, можна припустити, що основним механізмом сорбції РН із водних розчинів

композитом є, ймовірно, дифузія у внутрішньокристалічний простір каркасної матриці цеоліту, а магнетит, осаджений на поверхні клиноптилоліту, виступає лише у ролі магнітоактивної складової, що дозволяє видаляти відпрацьований сорбційний матеріал з розчину методом магнітної сепарації. Підтвердженням цьому слугують результати експериментальних досліджень сорбції  $^{137}\text{Cs}$  та  $^{90}\text{Sr}$  з водних розчинів на зразках магнетиту. Встановлено, що при тривалості контакту твердої і рідкої фаз 1 год  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  практично не сорбує іони цезію та стронцію з модельного водного розчину, а виступає лише у ролі магнітоактивної складової.

Сорбцію радіонуклідів на прикладі  $\text{Sr}^{2+}$  на  $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{Кл}$  можна представити у вигляді схеми, згідно якої найбільш ймовірним є натрієво-стронцієвий обмін, оскільки при синтезі  $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{Кл}$  у якості речовини-матриці використовували  $\text{Na}$ -форму клиноптилоліту.

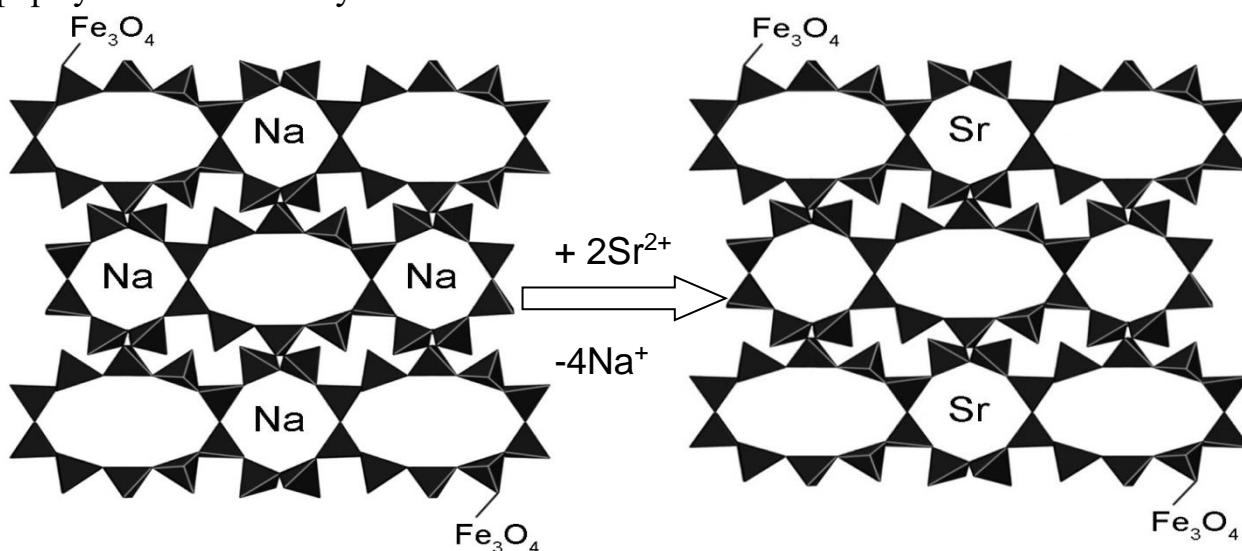


Рис. 2. Схема сорбції  $\text{Sr}^{2+}$  композитом  $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{Кл}$

**Висновки.** Встановлено, що ефективність сорбційного вилучення  $^{137}\text{Cs}$  та  $^{90}\text{Sr}$  досліджуваними природними та модифікованими мінералами значною мірою залежить від макрокомпонентного складу водного середовища. Результати досліджень показали, що  $\text{Fe}_3\text{O}_4/\text{Кл}$  є ефективним сорбентом для вилучення  $^{90}\text{Sr}$  із водних середовищ при незначному вмісті конкуруючих іонів. Саме тому пошук селективних та економічно доцільних сорбентів для дезактивації великих об'ємів природних вод із підвищеним солевмістом залишається актуальним.

#### Перелік джерел інформації

1. Пшинко Г.М., Пузирна Л.М. Поліфункціональні високоселективні сорбенти для очищення вод від радіонуклідів та інших неорганічних екотоксикантів. К.: Наукова думка. 2023. – 284 с.
2. Пшинко Г.Н., Пузырная Л.Н., Кобец С.А., Федорова В.М., Косоруков А.А., Демченко В.Я. Слоистый двойной гидроксид  $\text{Zn}$  и  $\text{Al}$ , интеркалированный гексацианоферрат(II)-ионами – сорбент для извлечения цезия из водных сред. Радиохимия. 2015. Т.57, №3. С. 221–226.



УДК 628.16.094.3: 547.992

## **Глибока деструкція гумінової кислоти в нейтральному водному середовищі в гомогенній фотокаталітичній системі**

**Віра Вакуленко, Ірина Столярова, Юлія Швадчина, Владислав Гончарук**  
*Інститут колоїдної хімії та хімії води ім. А.В. Думанського НАН України, Київ, Україна*

**Вступ.** Вдосконалені процеси окиснення (Advanced oxidation processes (AOPs)) дедалі ширше застосовуються для очищення природних вод від природних органічних речовин (ПОР) та мікродомішок різних екотоксикантів [1]. В процесі окиснення змінюються структура ПОР і їх властивості, що впливає на типи та концентрації утворених побічних продуктів окиснення в очищеній воді після заключного знезараження. Тому дуже бажаним є досягнення максимального ступеня мінералізації ПОР (повного розкладу до  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$  і неорганічних іонів) в процесі окиснення.

Високий ступінь мінералізації органічних домішок ( $\geq 80$  % за вмістом загального органічного вуглецю (ЗОВ)) забезпечують фотокаталітичні процеси, одним з яких є гомогенне фотокаталітичне окиснення пероксидом водню (фото-Фентон) [2]. Процес фото-Фентона суттєво підвищує швидкість та ступінь деструкції органічних домішок при менших дозах каталізатора та окисника, порівняно з темновим процесом Фентона, за рахунок додаткових шляхів утворення гідроксильних радикалів (фотолітичного відновлення катіонів  $\text{Fe}^{3+}$  у кислому середовищі (оптимальне рН 3–4) під впливом УФ-випромінювання або видимого світла та фотолітичного розкладу  $\text{H}_2\text{O}_2$ ), що покращує еколого-економічні показники процесу очищення води. Надзвичайно важливо забезпечити максимальний ступінь деструкції ПОР при раціональній дозі окисника та мінімальній концентрації каталізатора, щоб уникнути утворення небажаних проміжних продуктів та нераціональних енергетичних витрат [2]. Потенційним способом прискорення фотокаталітичної деструкції органічних сполук у нейтральному водному середовищі є хелатно-модифікований процес фото-Фентона [2, 3]. Проте застосування цього підходу для деструкції ПОР чи очищення реальних природних вод на даний час зустрічається рідко [4].

**Мета роботи.** Визначення раціональної концентрації пероксиду водню та мінімальної концентрації іонів  $\text{Fe}^{3+}$  для досягнення максимального ступеня мінералізації гумінової кислоти (ГК) у нейтральному водному середовищі в процесі фотокаталітичного ( $\text{Fe}^{3+}/\text{H}_2\text{O}_2/\text{УФ}$ ) окиснення при УФ-С-опроміненні та оцінка доцільності використання комплексних сполук заліза для інтенсифікації процесу її деструкції в хелатно-модифікованому процесі фото-Фентона.

**Матеріали і методи.** Як об'єкт дослідження використали нейтральні водні розчини гумінової кислоти фірми “Fluka” (ЗОВ<sub>0</sub> = 9–10 мг/дм<sup>3</sup>, рН<sub>0</sub> 6,4–6,9, кольоровість – 160±5 град). Кінетику фотокаталітичного ( $\text{Fe}^{3+}/\text{H}_2\text{O}_2/\text{УФ}$ ) окиснення розчинів ГК пероксидом водню вивчали при температурі навколишнього середовища у скляному реакторі (V = 0,5 дм<sup>3</sup>) при опроміненні

зануреною ртутно-кварцевою лампою ДРБ-8 ( $\lambda = 254$  нм) і перемішуванні магнітною мішалкою протягом 3 год. Було оцінено вплив концентрацій  $\text{H}_2\text{O}_2$  і  $\text{Fe}^{3+}$ , масових співвідношень  $[\text{H}_2\text{O}_2]/[\text{ЗОВ}]$  та добавок двох лігандів (L) – оксалату натрію ( $\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4$ ) і саліцилової кислоти ( $\text{C}_7\text{H}_6\text{O}_3$ ) при молярних співвідношеннях  $[\text{L}]:[\text{Fe}^{3+}]$  відповідно 3:1 і 1:1 на кінетику і ступінь мінералізації ГК. При вказаних співвідношеннях лігандів та  $\text{Fe}^{3+}$  утворюються стійкі комплекси в нейтральному середовищі [2]. В процесі обробки контролювали зміну концентрацій ЗОВ (ступінь мінералізації) аналізатором Shimadzu TOC- $V_{\text{csn}}$  та перексиду водню за реакцією з сульфатом титанілу.

**Результати.** Встановлено, що доза  $\text{H}_2\text{O}_2$  6,8 мМ, яка відповідає  $[\text{H}_2\text{O}_2]_0/[\text{ЗОВ}]_0 = 25$  мг/мг, при мінімальній  $[\text{Fe}^{3+}]_0 = 0,02$  мМ забезпечувала найвищий ступінь деструктивної мінералізації ГК (89% за 3 год) (рис. 1, а). При меншій дозі окисника (21 мг/мг) аналогічний ступінь мінералізації ГК досягався лише як результат двох процесів (деструкція + осадження), його деструктивна складова становила 69 %, частково через швидкий розклад окисника (рис. 1, б). Подальше підвищення дози  $\text{H}_2\text{O}_2$  починало гальмувати процес деструктивної мінералізації ГК та розклад самого окисника (рис. 1), як і підвищення концентрації  $\text{Fe}^{3+}$  до 0,1 мМ (рис. 2, б).

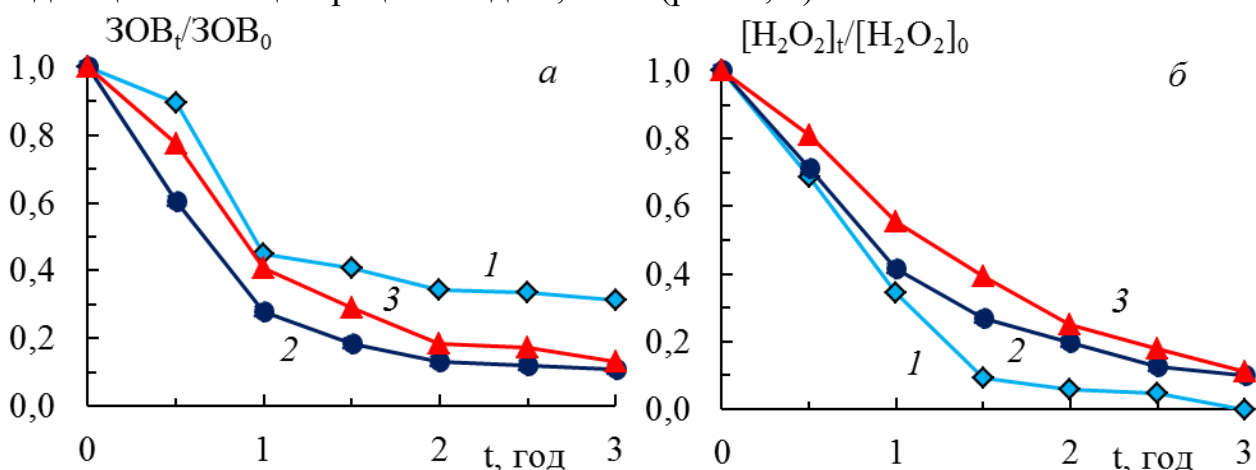


Рисунок 1. Кінетика фотокаталітичної мінералізації ГК (а) та розкладу  $\text{H}_2\text{O}_2$  (б) при різній концентрації  $\text{H}_2\text{O}_2$   $\text{ЗОВ}_0 = 9,3\text{--}9,6$  мг/дм<sup>3</sup>,  $[\text{H}_2\text{O}_2]_0 = 5,9$  (1), 6,8 (2) та 10,5 мМ (3),  $[\text{Fe}^{3+}]_0 = 0,02$  мМ,  $\text{pH}_0 6,8 \pm 0,1$

Зважаючи на помітно вищий початковий вміст ЗОВ внаслідок додавання органічних лігандів (від ~20 до ~80%), порівняльні дослідження кінетики деструктивної мінералізації ГК в нейтральному середовищі в хелатно-модифікованих процесах фото-Фентона було проведено при вищій питомій дозі окисника ( $35 \pm 3$  мг  $\text{H}_2\text{O}_2$ /мг  $\text{ЗОВ}_0$ ). Ступінь деструктивної мінералізації органічних домішок (ГК + ліганд) у хелатно-модифікованих процесах фото-Фентона при  $[\text{Fe}^{3+}] = 0,02$  мМ зростає до 92–93% за 3 год, порівняно з класичним його варіантом без комплексоутворювачів (87% за 3 год) (рис. 2, а).

При аналогічній дозі окисника та вищій концентрації іонів заліза ( $[\text{Fe}^{3+}] = 0,1$  мМ) ступінь деструктивної мінералізації ГК в нейтральному середовищі у

класичному процесі фото-Фентона знижувався до 64% за 3 год (рис. 2, б), а сумарна ефективність очищення (окиснення + коагуляція) становила 82% за ЗОВ. В той час, як при вказаних дозах реагентів у присутності оксалату натрію ступінь деструктивної мінералізації органічних домішок (ГК + ліганд) в нейтральному середовищі зростає до 89% за 3 год, а сумарна ефективність очищення (окиснення + коагуляція) – до 91% за ЗОВ.

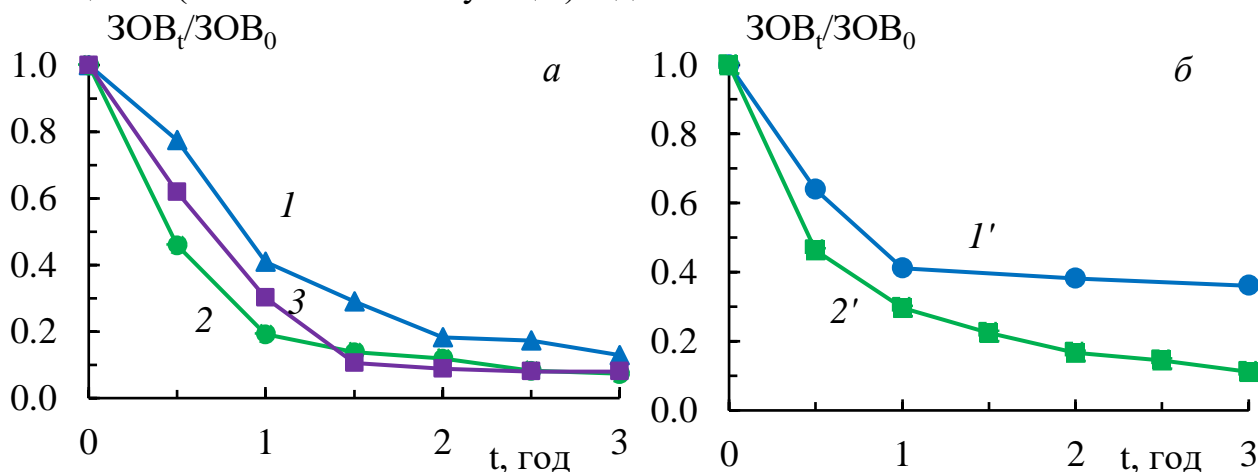


Рисунок 2. Порівняння кінетики фотокаталітичної мінералізації ГК в класичному (1, 1') та хелатно-модифікованих (2, 3, 2') процесах фото-Фентона

$ZOV_0 = 9,3-9,6$  (1, 1'),  $10,8-10,9$  (2, 3) і  $17,5$  мг/дм<sup>3</sup> (2'),  $[H_2O_2]_0 = 10,7 \pm 0,2$  мМ (а),  $10,2 \pm 0,4$  мМ (б),  $[Fe^{3+}]_0 = 0,02$  (а) та  $0,1$  мМ (б),  $L = Na_2C_2O_4$  (2, 2'),  $C_7H_6O_3$  (3),  $[Fe^{3+}]_0:[L]_0 = 1:3$  (2, 2') і  $1:1$  (3), рН 6,4–6,7

**Висновки.** Визначено раціональну питому дозу  $H_2O_2$  (25 мг/мг  $ZOV_0$ ), яка при мінімальній концентрації іонів  $Fe^{3+}$  (0,02 мМ) забезпечує максимальний ступінь деструктивної мінералізації гумінової кислоти при початковій концентрації  $ZOV_0 \sim 10$  мг/дм<sup>3</sup> в нейтральному водному середовищі (89% за 3 год) у гомогенному процесі фото-Фентона ( $Fe^{3+}/H_2O_2/УФ$ ) при УФ-С-опроміненні. Показано доцільність застосування деяких лігандів (оксалату натрію, саліцилової кислоти) для підвищення ступеня деструктивної мінералізації органічних домішок (ГК + ліганд) в нейтральному середовищі до 91–93 % за ЗОВ.

#### Перелік джерел інформації

1. Sillanpää M., Ncibi M.C., Matilainen A. Advanced oxidation processes for the removal of natural organic matter from drinking water sources: A comprehensive review. *J. Environ. Manage.* 2018. V. 208. P. 56–76.

2. Clarizia L., Russo D., Di Somma I., Marotta R., Andreozzi R. Homogeneous photo-Fenton processes at near neutral pH: A review. *Appl. Catal. B: Environ.* 2017. V. 209. P. 358–371.

3. Zhang Y., Zhou M. A critical review of the application of chelating agents to enable Fenton and Fenton-like reactions at high pH values. *J. Hazard. Mater.* 2019. V. 362. P. 436–450.

4. Santos A.P.F., Souza B.M., Silva T.F.C.V., Cavalcante R.P., Oliveira S.C., Machulek A. Jr., Boaventura R.A.R., Vilar V.J.P. Mineralization of humic acids (HAs) by a solar photo-Fenton reaction mediated by ferrioxalate complexes: commercial HAs vs extracted from leachates. *Environ. Sci. Pollut. Res. Int.* 2018. V. 28. P. 27783–27795.

УДК 628.16.094.3: 574.64:595.324

**Оцінка токсичності для *daphnia magna* реакційних сумішей після фотохімічного та фотокаталітичного окиснення водних розчинів гумінової кислоти пероксидом водню**

**Андрій Головков, Ірина Столярова, Віра Вакуленко**

*Інститут колоїдної хімії та хімії води ім. А.В. Думанського НАН України, Київ, Україна*

**Вступ.** Удосконалені процеси окиснення (AOPs) стали загальновизнаною технологією очищення води в останні десятиліття. Проте, незважаючи на високу ефективність AOPs для видалення цільових органічних домішок, повної мінералізації більшості з них зазвичай легко досягти не вдається. Повний цикл хімічних перетворень від видалення вихідної сполуки до повної мінералізації з оцінкою можливих біологічних ефектів залишається рідко досконально вивченим. Водночас кінцевою метою всіх деструктивних технологій є детоксикація усіх домішок, а не лише видалення цільових сполук. Тому випробування на *Daphnia magna* є надзвичайно важливими як одна з можливостей неспецифічної оцінки інгібуючої та біологічної дії сумішей усіх відомих, а також невідомих продуктів розкладу цільових забруднюючих речовин [1]. Цей підхід особливо корисний при вивченні дуже складних органічних домішок, таких як гумінові кислоти, чиї проміжні та побічні продукти деструкції важко повністю ідентифікувати аналітичними методами. У деяких випадках застосування AOPs було встановлено утворення більш токсичних продуктів порівняно з початковим органічним забруднювачем [2].

**Мета нашого** дослідження на початковому етапі полягала в екотоксикологічній оцінці реакційних сумішей безпосередньо після фотохімічного ( $\text{H}_2\text{O}_2/\text{УФ}$ ) та гомогенного фотокаталітичного ( $\text{Fe}^{3+}/\text{H}_2\text{O}_2/\text{УФ}$ ) окиснення (процес фото-Фентона) гумінової кислоти (ГК) при невисоких ступенях її хімічної мінералізації (розкладу до  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$  та неорганічних іонів).

**Матеріали і методи.** Як об'єкт дослідження використовували нейтральні водні розчини комерційної гумінової кислоти (ГК) фірми "Fluka" невисокої концентрації ( $\text{ЗОВ}_0 = 8,5\text{--}9,7 \text{ мг/дм}^3$ , кольоровість –  $160 \pm 5$  град.). Фотохімічне ( $\text{H}_2\text{O}_2/\text{УФ}$ ) та фотокаталітичне ( $\text{Fe}^{3+}/\text{H}_2\text{O}_2/\text{УФ}$ ) окиснення розчинів ГК проводили в скляному реакторі ( $V = 0,5 \text{ дм}^3$ ) з зануреною ртутно-кварцовою лампою ДРБ-8 ( $\lambda = 254 \text{ нм}$ ) при перемішуванні магнітною мішалкою протягом 3 год. Параметри обробки і характеристики початкового та окиснених розчинів ГК наведені в таблиці 1.

Екотоксичність оцінювали шляхом тестування летальності *Daphnia magna* протягом 96 год. відповідно до стандартного протоколу, описаного в [3]. Тести на гостру токсичність проводили із початковими розчинами ГК в

дистильованій (рН<sub>0</sub> 6,3–7,1) та модельній (лужність – 2,5 мМ NaHCO<sub>3</sub>, рН<sub>0</sub> 7,9–8,0) водах до обробки і після обробки H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/УФ та класичним (Fe<sup>3+</sup>/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/УФ) чи феріоксалатно модифікованим (0,06–0,12 мМ Na<sub>2</sub>C<sub>2</sub>O<sub>4</sub>) процесом фото-Фентона (табл. 1). Метод біотестування на дафніях заснований на визначенні ступеня виживання ракоподібних при токсичному впливі хімічних речовин, що містяться у воді, і порівняння їх з контрольними показниками (КН). Критерієм гострої токсичності є загибель 50 % і більше особин, а хронічної токсичності – загибель від 20 % до 40 % дафній за період до 96 год у тестованій воді порівняно з контролем.

Таблиця 1. – Параметри обробки і характеристики початкового та окиснених розчинів ГК

Обробка	№ п/п	До обробки					Після обробки		
		рН	ЗОВ, мг/дм <sup>3</sup>	Fe <sup>3+</sup> , мМ	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> , мг/дм <sup>3</sup>	Na <sub>2</sub> C <sub>2</sub> O <sub>4</sub> , мМ	рН	ЗОВ, мг/дм <sup>3</sup>	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> , мг/дм <sup>3</sup>
–	1	6,8	8,5	0	0	0	6,8	8,5	0
Фото-Фентон	2	6,4	9,1	0,02	306	0	5,4	2,9	54
Фото-Фентон	3	6,3	11,8	0,02	308	0,12	5,5	3,8	53
модифікований	4	6,3	11,8	0,02	329	0,12	5,6	3,2	62
	5	6,3	10,7	0,02	323	0,06	5,5	3,8	65
	6	7,1	9,6	0	330	0	6,0	3,0	94
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> /УФ	7	7,9*	9,7	0	319	0	7,3*	2,7	38

Примітка: \* Лужність – 2,5 мМ NaHCO<sub>3</sub>.

**Результати.** Спостереження протягом перших 9 годин показали значне прискорення відмирання дафній в частині окиснених розчинів ГК порівняно з початковим (рис. 1). Їх летальність зростала найшвидше у зразку № 6 з максимальною залишковою концентрацією H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>. Водночас у аналогічно обробленому зразку № 7, з мінімальними концентрацією H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> і вмістом загального органічного вуглецю (ЗОВ) та нейтральним рН, як і в початковому розчині ГК (зразок № 1), не було виявлено загиблих дафній за вказаний час.

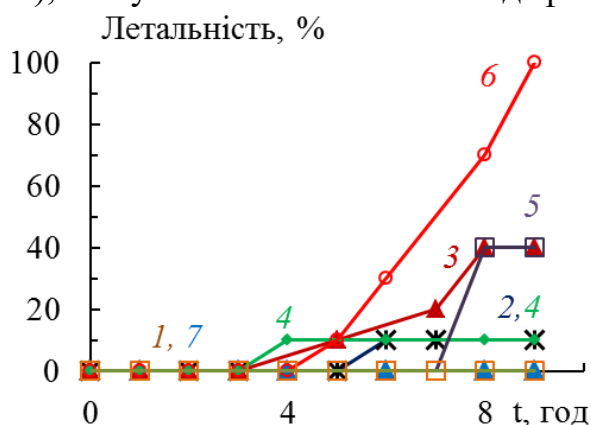


Рисунок 1. Кінетика загибелі *Daphniatagna* в початковому розчині ГК (1); розчинах, окиснених в процесі фото-Фентона без (2) та у присутності 0,12

### **мМ (3, 4) чи 0,06 мМ оксалату натрію (5); розчинах, окиснених в процесі H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/УФ-обробки без (6) та у присутності 2,5 мМNaHCO<sub>3</sub> (7)**

Разом з тим, при ідентичних параметрах обробки зразків № 3 і № 4, летальність дафній зростала швидше у зразку № 3 з дещо вищим вмістом ЗОВ і меншим залишком окисника, порівняно із зразком № 4. Також довший латентний період було відмічено для зразка № 5 з меншою концентрацією доданого Na<sub>2</sub>C<sub>2</sub>O<sub>4</sub> порівняно із зразком № 3.

Проте, протягом 24 год летальність дафній досягала 100 % в усіх окиснених розчинах ГК, на відміну від початкового розчину (10 %) чи контрольного середовища (0 %). Таким чином, в цілому, гостра токсичність була характерна для усіх окиснених розчинів ГК (№ 2 – № 7). Ймовірні її причини: значні залишкові концентрації H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (38–94 мг/дм<sup>3</sup>); недостатній ступінь мінералізації ГК і проміжних продуктів її деструкції (~68–73%) та висока токсичність деяких з останніх.

*Daphnia magna* дуже чутливі до присутності H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> в низьких концентраціях (LC<sub>50</sub> ≤ 7,3 мг/дм<sup>3</sup>) [4]), крім того, ГДК H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> у питній воді становить 0,1 мг/дм<sup>3</sup>. Тому його залишки необхідно ретельно дезактивувати перед вимірюванням токсичності та відкоригувати рН до нейтральних значень. Ці завдання є метою подальших досліджень. Проте навіть початковий розчин ГК “Fluka” проявив хронічну токсичність (40 % за 48–72 год).

**Висновки.** Таким чином, застосування AOPs, пов’язаних з використанням пероксиду водню для деструкції ГК, потребує ретельного обґрунтування необхідної дози окисника та тривалості процесу для досягнення максимального ступеня їх мінералізації при повному використанні H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, щоб уникнути необхідності додаткової стадії дезактивації окисника для отримання екологічно безпечної очищеної води.

#### **Перелік джерел інформації**

1. Rizzo L. Bioassays as a tool for evaluating advanced oxidation processes in water and wastewater treatment. *Water Research*. 2011. V. 45. N 15. P. 4311–4340.

2. Wang W.L., Wu Q.Y., Huang N., Xu Z.B., Lee M.Y., Hu H.Y. Potential risks from UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> oxidation and UV photocatalysis: A review of toxic, assimilable and sensory-unpleasant transformation products. *Water Research*. 2018. V. 141. P. 109–125.

3. ДСТУ 4173:2003 Якість води. Визначення гострої летальної токсичності на *Daphnia magna* Straus та *Ceriodaphnia affinis* Lilljeborg (Cladocera, Crustacea) (ISO 6341:1996, MOD).

4. Guerrero-Romero C.L., Revelo D., Caicedo A., Botina M., García-Mora A.M., Torres-Palma R.A., Galeano L.-A., Sánchez-Ortiz I.A. Evaluation of the acute toxicity on *Daphnia magna* throughout the catalytic wet peroxide oxidation of dissolved natural organic matter. *Desalination and Water Treatment*. 2020. V. 198. P. 272–283.

**Сорбенти на основі клиноптилоліту з додатковими  
функціональними властивостями**

**Зеновій Знак, Марта Пиріг, Мар'ян Мацьків, Тарас Матвіїв**

*Національний університет «Львівська політехніка», м. Львів*

**Вступ.** Природні матеріали, у тому числі, клиноптилоліт, застосовують у багатьох технологіях підготовки природної та кондиціонування стічних вод. Перевага клиноптилоліту у його низькій вартості, дуже великі запаси покладів у Закарпатській області, і головне – він має допуск до застосування у технологіях харчових продуктів і підготовки питної води. Клиноптилоліт застосовують головню як сорбент, наприклад, щодо йонів важких металів та низки органічних сполук, та, рідше, природного іонообмінника. Однак природні води чи стоки часто містять сполуки, які доволі легко окиснюються за присутності каталізаторів, та бактеріальні забруднення. Тому розширення функціональних властивостей клиноптилоліту, зокрема, надання йому каталітично-окисних чи/та антибактеріальних властивостей дало б змогу ефективніше застосовувати його у технологіях водопідготовки і, разом з тим, покращити якість, передусім, питної води. Відтак проводили дослідження з модифікування цеоліту йонами та високо дисперсними частинками срібла, оксидами мангану, міді, заліза.

**Матеріали і методи.** У дослідженнях використовували природний клиноптилоліт Сокирницького родовища (Закарпатська обл.). Попередньо його збагачували за основним мінералом під час механічного подрібнення і відсівання глинистих матеріалів з подальшим її відмиванням. Дослідження проводили з цеолітом без попередньої підготовки, а також зразки, які піддавали термообробленню за температури від  $100\pm 5$  °C до  $400\pm 10$  °C, а також зневоднених під дією надвисокочастотного (НВЧ) випромінювання до досягнення сталої маси. Як прекурсори для модифікування клиноптилоліту використовували розчини срібла нітрату (як відновник використовували гідразин), мангану нітрат, міді та заліза хлориди та сульфати. Модифікування клиноптилоліту проводили за механічного перемішування та під дією ультразвукового випромінювання. Вміст срібла, мангану, заліза та міді визначали методом енергодисперсійного аналізу (EDX), а морфологію поверхні модифікованого клиноптилоліту – методом електронної сканувальної мікроскопії.

Зміну концентрацій йонів срібла в часі модифікування визначали потенціометрично, а інших йонів – трилонометрично.

**Результати.** Встановлено, що упродовж перших 3...5 хв сорбується близько 90...95 % від загальної кількості йонів не залежно від умов попереднього термооброблення. Проте значення сорбційної ємності клиноптилоліту залежить від саме від умов термооброблення. Найнижча сорбційна ємність притаманна клиноптилоліту без попереднього термооброблення. За температури оброблення  $100\pm 5$  °C у всіх випадках сорбційна ємність зростає у 3...4 рази. При збільшенні температури оброблення

до  $150 \pm 5$  °C спостерігається приріст сорбційної ємності на 25...30 %. Однак за подальшого збільшення температури до  $400 \pm 5$  °C суттєвого збільшення сорбційної ємності не відмічено.

Встановлено, що клиноптилоліт, активований під дією НВЧ-випромінювання, характеризується сорбційною ємністю, що дорівнює такій для цеоліту активованого за температури  $150 \pm 5$  °C. Проте за енергетичними показниками активація НВЧ-випромінюванням є значно ефективніша, оскільки сам клиноптилоліт електромагнітне випромінювання не поглинає. Відтак енергія витрачається лише на зневоднення та розклад сорбованих солей, наприклад, нітратів.

Збільшення температури незначно впливає на швидкість сорбції та сорбційну здатність клиноптилоліту.

Застосування ультразвукового випромінювання сприяє збільшенню сорбційної ємності клиноптилоліту щодо вказаних прекурсорів. Отже, процес модифікування вказаними розчинами відбувається у внутрішньо-дифузійній області. Найбільший приріст сорбційної ємності спостерігається зі збільшенням фракційного складу клиноптилоліту. Так, якщо для фракції 0,63...0,1 мм приріст сорбційної ємності під дією УЗ-випромінювання дорівнює 5...10 %, то для фракції 2,5...3,0 мм він становить 30...40 %.

Аналіз електронних знімків модифікованих зразків клиноптилоліту дав змогу встановити, що високодисперсні частинки срібла, оксидів мангану, міді та заліза практично не блокують поверхню клиноптилоліту, тобто здатність сорбувати органічні сполуки під час очищення вод практично не зменшується.

**Висновки.** 1. Рациональна температури активації природного клиноптилоліту, яка забезпечує суттєвий приріст сорбційної ємності щодо розчинів солей срібла, мангану, міді та заліза, дорівнює  $150 \pm 5$  °C.

2. Активація природного клиноптилоліту НВЧ-випромінюванням забезпечує значення сорбційної ємності щодо вказаних солей, що дорівнює такому для цеоліту, активованого за  $150 \pm 5$  °C, однак є енергетично ефективнішою.

3. Здійснення модифікування під дією УЗ-випромінювання спричиняє збільшення сорбційної ємності клиноптилоліту, при чому цей ефект проявляється більше зі збільшенням розмірів частинок клиноптилоліту.

#### **Перелік джерел інформації**

1. Znak Z.O., Kornii S.A., Mashtaler A.S., Zin O.I. Production of Nanoporous Zeolites Modified by Silver Ions with Antibacterial Properties // Materials Science, 2021, January, V 56, № 4, P. 536 – 543.

2. Z. Znak, O. Zin, A. Mashtaler, S. Korniy, Yu.Sukhatskiy, Parag R. Gogate, R. Mnykh, Pooja Thanekar. Improved modification of clinoptilolite with silver using ultrasonic radiation. // Ultrasonics Sonochemistry. Volume 73, May 2021, 105496.



**Визначення вмісту акриламід у флокулянті та воді питній**

**<sup>1</sup>Наталія Стаднічук, <sup>1</sup>Ольга Макарова, <sup>2</sup>Олег Кроніковський**

<sup>1</sup>*ДП «Науковий центр превентивної токсикології, харчової та хімічної безпеки імені академіка Л.І. Медведя Міністерства охорони здоров'я України», Київ, Україна*

<sup>2</sup>*«Національний університет харчових технологій», Київ, Україна*

**Вступ.** Успіхи науки підтверджують реальну можливість регулювання контролю та вмісту речовин та доведення їх концентрації в навколишньому середовищі до безпечних меж. Наявність сучасних аналітичних приладів дозволяє контролювати вміст акриламід у флокулянті, яким обробляється вода, та у воді питній.

**Мета роботи.** Аналіз наукової літератури та міжнародних нормативних документів щодо оцінки ризику використання флокулянтів для очищення води та воді питній.

Акриламід використовується для синтезу поліакриламід та деяких кополімерів, що застосовуються як флокулянти, отверджувачі та матеріали покриття.

Акриламід — амідакрилової кислоти складу  $\text{CH}_2\text{CHCONH}_2$  (2-пропенамід,  $\text{CH}=\text{CHC}(\text{O})\text{NH}_2$ ), біла, тверда речовина, добре розчиняється у воді, спиртах. Проявляє сильні нейротоксичні властивості. Молекулярна маса - 71,078 г/моль, густина - 1,122 г/см<sup>3</sup> (30 °C), CASRN79-06-1.

**Матеріали і методи.** Аналіз європейських документів, в тому числі стандарту EN 1410:2008 «Chemicals used for treatment of water intended for human consumption – Cationic polyacrylamides» («Хімічні речовини, які використовуються для очищення води, призначеної для споживання людиною – Катіонні поліакриламід»). Завдяки дії цих речовин можна значно прискорити процес очищення води. Дія флокулянта проходить в два етапи. Перший етап – зменшення електричного потенціалу на поверхні частки, в результаті чого він починає активно об'єднуватись з іншими частками. Другий етап – частки об'єднуються в крупні утворення (флокули), які значно легше видалити за допомогою фільтрів.

Директивою (ЄС) 2020/2184 Європейського Парламенту та Ради від 16 грудня 2020 року про якість води, призначеної для споживання людиною (так само як і в попередньому варіанті Директиви Ради 98/83/ЄС від 3 листопада 1998 року про якість води, призначеної для споживання людиною), контролюється акриламід на рівні 0,10 мкг/л. Параметричне значення 0,10 мкг/л відноситься до залишкової концентрації мономеру у воді, розрахованої відповідно до специфікацій максимального вивільнення з відповідного полімеру при контакті з водою.

Документом, який діє на сьогоднішній час, ДСанПіН 2.2.4-171-10 «Державні санітарні норми та правила «Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною», передбачено використання тільки поліакриламід залишкового (речовина II класу небезпеки), що визначається на

рівні  $\leq 2,0$  мг/л. Визначення поліакриламід у питній воді фасованій, з пунктів розливу та бюветів проводиться у разі використання в процесі водопідготовки водопровідної питної води з поверхневого джерела питного водопостачання.

**Результати.** Дослідницько-випробувальний токсикологічний центр (ДВТЦ) державного підприємства «Науковий центр превентивної токсикології, харчової та хімічної безпеки імені академіка Л.І. Медведя Міністерства охорони здоров'я України», акредитований відповідно до вимог ДСТУ EN ISO/IEC 17025:2019 (Атестат про акредитацію № 20375 від 03.09.2024 р.) проводить дослідження показників безпечності води питної, а також вміст шкідливих речовин у питній воді та у флокулянті.

Дослідження зразків води питної на вміст акриламід у воді проводяться з використанням методів, розроблених в ДВТЦ, а саме: МІ.7.2.01-144 «Визначення акриламід у флокулянтах методом рідинної хроматографії з УФ-детектором» та МІ.7.2.01-119 (ДСТУ EN 15662:2023) «Визначення акриламід у харчових продуктах, каві, кавових продуктах та питній воді».

Чутливість методу МІ.7.2.01-144 дозволяє задовільнити вимогам, що висуваються до даного продукту, а саме: акриламід –  $>20$  мг/кг (ВЕРХ-УФД).

Межа кількісного визначення акриламід у воді питній за методом МІ.7.2.01-119 становить 0,02 мг/л (ВЕРХ-МС/МС).

**Висновки.** Актуальність визначення акриламід має велике значення в зв'язку використанням флокулянту та, відповідно, використанням кінцевого продукту: води питної. Розроблені методи ДВТЦ забезпечують контроль встановлених медико-санітарних нормативів.

УДК 544.7

## **Biosynthesized Magnetic Nanoparticles: Eco-friendly Adsorbents for Effective Water Purification**

<sup>1</sup>Samuel García García, <sup>2</sup>Tetiana Hubetska, <sup>2</sup>Natalia Kobylinska,  
<sup>1</sup>Santiago Garcia-Granda

<sup>1</sup>University of Oviedo - CINN(CSIC), Oviedo, Spain

<sup>2</sup>A.V. Dumansky Institute of Colloid and Water Chemistry, National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

Water is vital to our health, playing a key role in many of body's functions. According to the World Health Organization (WHO) and UNICEF it is estimated that 663 million people do not have access to safe drinking water. The regions that most suffer from this problem are Sub-Saharan Africa (48%), South Asia (20%) and East Asia (10%). To prevent public health problems, it is necessary disinfected and purified water sources.

Magnetic nanoparticles are made up of specific metals, like iron, cobalt, nickel, and zinc [1]. These metals give excellent magnetic properties. They can be separated out by using an external magnetic field. Then, they can be reused for the next treatment process. These materials are nontoxic, and their smaller size allows them to be specifically used in many different biochemical functions. They offer a highly effec-

tive means of removing various contaminants from water sources. One of the primary uses is the removal of heavy metals such as Pb(II), Cd(II), Hg(II) ions, etc. They also help in carrying out different wastewater treatment processes such as flocculation, adsorption, filtration, photocatalysis, and many more methods.

Chemical co-precipitation is a popular chemical method where different chemicals are precipitated in basic solution to break down particles into smaller sizes. In contrast, sol-gel, hydrothermal, thermal decomposition methods are the renowned chemical methods. In these methods, various chemicals containing metals like iron, nickel, and cobalt undergo chemical reactions under higher temperature or pressure to form magnetic nanoparticles. Nevertheless, the above techniques require specialized equipment, toxic chemicals, energy-consuming operating conditions, and thus are very costly. Also, the toxic byproducts generated from the chemical methods lead to environmental pollutions. Under biological or “green” methods, either microbes, enzymes, or different parts of plants help in forming magnetic nanoparticles [1]. “Green” nanotechnological chemistry is a simple and eco-friendly technique that avoids the usage and release of harmful chemicals.

In this study, magnetic iron oxide nanoparticles ( $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{NPs}$ ) were obtained by easy ‘green’ synthesis method using extract of Olive leaves from Spain. The extract moieties, especially, the phenolic compounds were acted as reducing as well as stabilizing agents during formation of magnetite nanoparticles. The structural and properties of the  $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{-NPs}$  were investigated by X-ray diffraction (XRD), Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR), vibrating sample magnetometry (VSM), Energy dispersive X-ray analysis (EDS), Scanning electron microscopy (SEM) and transmission electron microscopy (TEM).

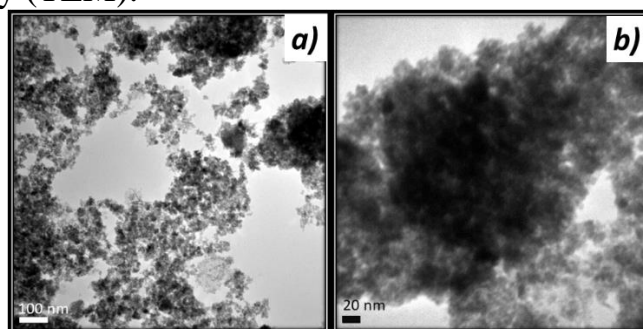


Figure 1. TEM images of biosynthesized  $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{NPs}$  at different magnifications

The seven distinct diffraction peaks of XRD patterns of obtained  $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{NPs}$  at 18.21, 30.11, 35.41, 43.34, 53.65, 57.30 and 62.85 could be assigned for (111), (220), (311), (400), (422), (511), and (440) planes, respectively. The observed diffraction peaks were fairly matched with the standard magnetite XRD patterns (JCPDS card: 19-0629), which declared the crystalline nature of the biosynthesized  $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{NPs}$ . The crystallite size of  $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{NPs}$  was estimated to be  $14.26 \pm 6.28$  nm according to Scherrer equation. These results were good correlated with average particles size in the TEM images (Fig. 1).

Also, the obtained  $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{NPs}$  possessed a spherical form with a “core-shell” structure, where the  $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{NPs}$  was wrapped in a thin layer of mesh-like, organic mat derived from extract biomolecules. Such bioactive compounds are well known to acts

as a coating agent that increases the antioxidant capacity and reduces the agglomeration of iron nanoparticles. The presence of functional groups of the organic moieties that exist in the leaf extract of olive was confirmed by FTIR analysis. The strong additional peak at  $570\text{ cm}^{-1}$  ascertained the stretching vibration of  $\nu(\text{Fe}-\text{O})$  present in  $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{NPs}$ . The magnetic characteristics of obtained magnetic nanoparticles were characterized by high magnetisation with zero magnetic remanence and coercivity. Therefore, the magnetic materials showed superparamagnetic behavior.

So, we have demonstrated that olive extract can be effectively used to biosynthesize  $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{NPs}$ , with promising characteristics for various water purification treatments including photocatalysis. It is expected that the synthesized  $\text{Fe}_3\text{O}_4\text{NPs}$  could be a promising material to treat industrial wastewater via a profitable, sustainable, and eco-friendly approach.

### References

1. B. Mahmoudi, F. Soleimani, H. Keshtkar, M. A. Nasser, M. Kazemnejadi, Green synthesis of trimetallic oxide nanoparticles and their use as an efficient catalyst for the green synthesis of quinoline and spirooxindoles: Antibacterial, cytotoxicity and anti-colon cancer effects, *Inorganic Chemistry Communications* 133 (2021) 108923
2. M. Pinto, P.S.F. Ramalho, N.F.F. Moreira, A.G. Gonçalves, O.C. Nunes, M.F.R. Pereira, O.S.G.P. Soares, Application of magnetic nanoparticles for water purification, *Environmental Advances* 2 (2020) 100010

UDC 661.183.2+541.183.5

### Testing of modified activated carbons for removal of sulphide and nitrite ions from water

**Raisa Nastas, Irina Ceban, Tatiana Goreacioc, Tudor Lupascu**

*Institute of Chemistry of Moldova State University, Chisinau, Republic of Moldova*

**Introduction.** Hydrogen sulphide, nitrite, ammonium and fluoride ions in drinking water are a problem of considerable importance in Republic of Moldova, especially in small communities that have no alternative sources of available water [1,2]. Among various methods used to remove pollutants in reduced form (hydrogen sulphide, nitrite ions) adsorption/oxidation on activated carbons is considered as a very efficient and cost-effective approach. Activated carbons are ideal carriers for catalytic metals or are used as catalysts alone. The aim of this work was to develop catalysts on the basis of activated carbons by oxidation and/or impregnation with catalytic metals (Cu, Fe, Ni, Cr, Mn) for removal of sulphide and nitrite ions from water.

**Materials and methods.** For studies, activated carbons of vegetal origin from peach stones (CAP), plum stones (CAPr) and walnut shells (CAN) were used, as well as, commercially available (Centaur, SCN, AG-5). The catalysts were developed by oxidation of activated carbons with concentrated nitric acid and impregnation with catalytic metals (ions or oxides (Cu, Fe, Ni, Cr, Mn, Zr, Co, Zn)) [3,4]. The obtained

catalysts general characteristics were determined by standard methods (BET surface, SEM-EDX, XRD etc.) and the catalytic activity was evaluated by chemiluminescence in luminol/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> system and ABTS cation-radical method [4,5].

Batch adsorption experiments were performed at different conditions (pollutant concentration, pH and temperature) in order to choose the most efficient adsorbents/catalysts. The tests of sulphide and nitrite ions oxidation were carried out in a semi-pilot installation, equipped with an air bubbler and a container with analkaline solution, to capture aerated SO<sub>x</sub> and NO<sub>x</sub> gases (Figure 1). As samples of natural waters were used water from village Isacova (district Orhei), village Bubueci (district Anenii Noi) and city Hincesti from Republic of Moldova.

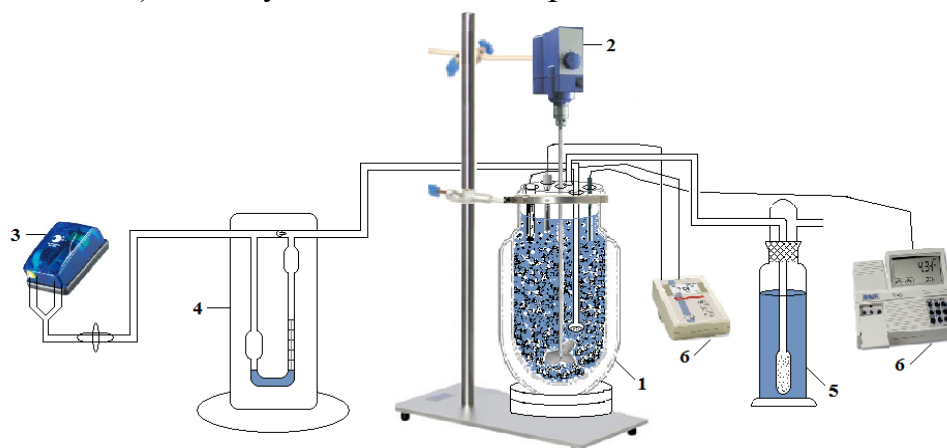


Figure 1. **Schematic diagram of the semi-pilot plant for the removal of sulphide and nitrite ions from water. 1- Reactor; 2- stirrer; 3- air pump; 4- air mete; 5- gas capture vessel; 6- multi-parameters**

**Results.** The capacity of carbonaceous catalysts for the oxidation of sulphide and nitrite ions in the presence of oxygen depends on several factors: the nature of the carbon support and the method of activated carbon production (physical method with water vapor, chemical method with phosphoric acid, microwave-assisted method); modification of the carbon support surface through oxidation and impregnation with metals; the type of metal impregnated on the surface of the activated carbon.

Comparative analysis of the developed catalysts with that of commercial ones (Centaur, FAS, SCN and AG-5) to remove sulphide ions from water highlight samples Centaur (USA) and FAS (Russia), and samples modified with nickel, manganese and copper ions (Figure 2).

Testing of catalysts to remove nitrite ions from water (by adsorption and oxidation) highlighted the samples modified with copper oxides and manganese oxides having a removal capacity for nitrite ions of 90% and, being in agreement with the redox activity evaluated via the chemiluminescence method (Figure 3).

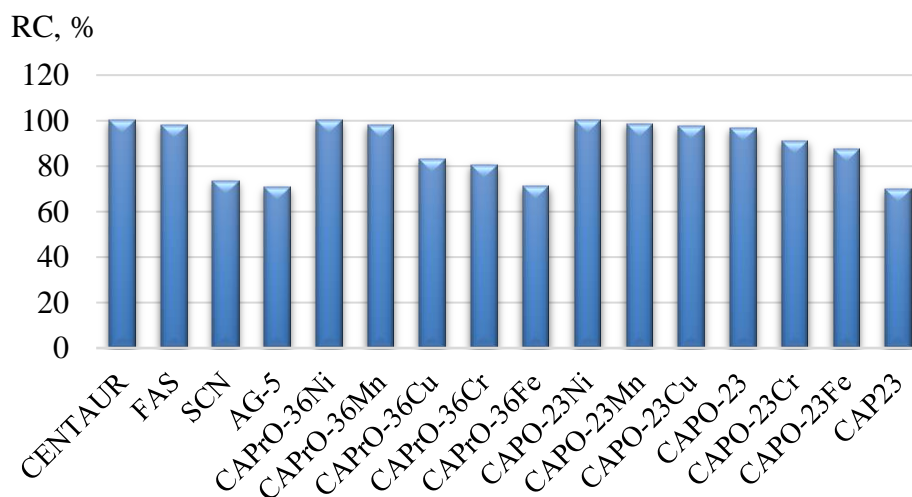


Figure 2. **Relative capacity (RC, %) of activated carbons to remove sulphide ions from water**

The best samples were tested for removal of sulphide and nitrite ions from water

by adsorption/oxidation processes using semi-plant in field conditions. The semi-plant consisted of 3 columns being connected consecutively: (i) first column contains modified mineral adsorbent; (ii) the second column - quartz sand; (iii) the third column - modified carbonaceous adsorbent. The third column was equipped with a device for bubbling air. The raw water has been passed through installation with a flow at a rate of 50 to 80 mL/min, the initial concentration of hydrogen sulphide varied in the range from 6 to 9 mg/L. Water quality parameters achieved after treatment were as following: lack of hydrogen sulphide, pH of the medium from 8.3 to 8.5, turbidity between 0 ÷ 2 NTU, the sulphate ion concentration ranged from 80 to 120 mg/L, redox potential ranged between +4 ÷ +140 mV. Nitrite and nitrate ions were not detected in water samples. Studies proved that the implementation of recommended processes ensures 100% efficiency for the removal of hydrogen sulphide from underground water.

**Conclusions.** The research results demonstrate the importance of using activated carbons in the process of removing nitrite ions from water under oxic conditions, increasing the removal rate of nitrite ions from 0.5% to 70% under the same experimental conditions. Additionally, the proportion of nitrite ions oxidized to nitrate ions is 20-30%. In the case of removing nitrite ions from natural water (with high concentrations of nitrate ions, sodium, and a pH value of 8.1), the contribution of activated carbons is 9.5-15.5%, while the proportion of nitrite ions oxidized to nitrate ions is 6-10%.

Field experiments/tests of copper impregnated carbonaceous adsorbents for removal of hydrogen sulphide from underground waters showed that the recommended processes ensure 100% efficiency.

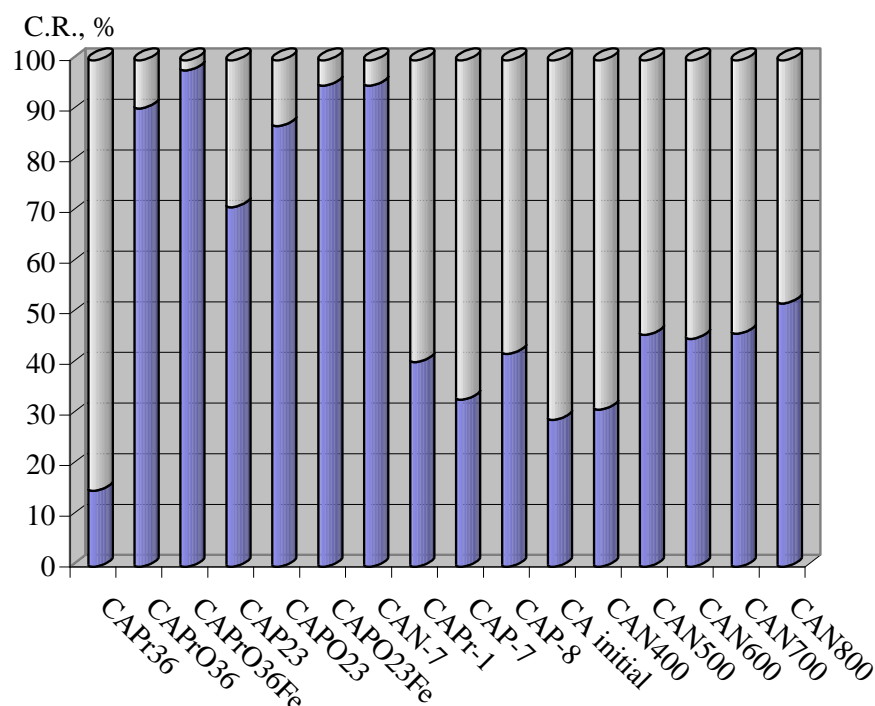


Figure 3. **Relative capacity (RC, %) of activated carbons to remove nitrite ions from water**

**Acknowledgements.** This work was supported by Republic of Moldova sub-program “ECOQUA” (code 010603) of Moldova State University (Institute of Chemistry).

#### References

1. Bernardini F., Enderlein R. and Gonciar V. Setting Targets and Target Dates under the Protocol on Water and Health in Republic of Moldova. 2011, Chisinau: Elan Inc, 86p.
2. Sandu M., Tarata A., Sergentu E., Turcan S. and Goreacioc T. Accumulation of nitrate ions in underground waters of Republic of Moldova, causes and solutions of pollution minimizing. Proceedings of the ICTDRBM Frames of a New River Basin Treaty, Chisinau, September 20-21, 2013.
3. Goreacioc T. Study of treatment processes water contaminated with nitrite ions. Chisinau, Republic of Moldova, PhD thesis 2018, 151 p.
4. Ginsari I. Evaluation of the influence of carbonaceous adsorbent surface chemistry on the adsorption process of pollutants. PhD thesis in chemical sciences, Chisinau, 2021, 214 p.
5. Rusu V., Nastas R., Timbaliuc N., Gonta A., Maftuleac A. Sorption and catalytic proprieties of Al-pillared montmorillonite. *Studia Universitatis Moldaviae*, 2014, no. 1, pp. 166-174.

**Use of PHMG Derivatives in Military Field Conditions**

**Taras Nizhnik<sup>1</sup>, Tatyana Strikalenko<sup>2</sup>**

*<sup>1</sup>National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky KPI", Kyiv, Ukraine*

*<sup>2</sup>Odesa National University of Technology, Odesa, Ukraine*

Providing military formations and the affected population with good quality water in the field is one of the most important factors in maintaining the health and combat capability of the personnel of the Armed Forces of Ukraine, the efficiency of disaster responders and the population, which requires its extraction and delivery to military units and population groups in large quantities [1]. Water in a field camp, in military field conditions is used for drinking and household needs (washing personnel, sanitizing and washing clothes, disinfecting, decontaminating and decontaminating uniforms, weapons and equipment, etc.) However, the ways to achieve the regulatory requirements for the required amount of water in peacetime and during military operations are significantly different. The problem of finding and improving technologies for treating water used for drinking and sanitary needs in military field conditions is relevant. The purpose of this work was to briefly analyze the existing modern technologies for water treatment in the field and the developments on this issue, carried out with our participation in previous years.

Timely supply of water to the troops in the required quantity is possible as a result of a set of organizational, engineering and technical measures, including engineering exploration of water sources, its extraction and purification, equipment of field water supply points and water supply to units. Existing equipment - mobile military filtering stations VFS 2.5 and FVS-10 using calcium hypochlorite, mobile water purification devices, and even a fabric-carbon filter TUF-200 - are not able to provide effective disinfection of water from available water sources. Modern autonomous mobile water purification systems that use microfiltration and reverse osmosis technologies, which are available in the armies of the United States, the United Kingdom, and NATO countries, are not available in the Armed Forces, and re-equipping the latter will take time. The experience of the ATO in Donetsk and Luhansk oblasts has shown the need to provide units performing tasks independently with medical tablet preparations such as Aquasept, Aquasan, NeoAquasept, Dutrion, and individual and portable filters similar to NF-10 and NF-50, which are designed for life support and survival in extreme situations. However, due to the degree of purification and limited use (only for drinking water), they do not meet modern requirements [1]. The delivery of packaged drinking water to units is quite problematic for known reasons and cannot be an alternative to other means of providing drinking water to military personnel.

With the participation of the authors, a set of scientific and practical studies (since 1997) has been carried out on the use of the complex action reagent "Aquatone-10" (active ingredient PHMG-gch with a low content of residual monomers, developed by the Scientific and Technical Center "Ukrvodbezpeka", Kyiv; positive sanitary, hygienic and toxicological conclusions of the Ministry of Health examination [2]). The complexity of the action of this representative of guanidine



polymers lies in the proven ability to purify treated water from natural sources from suspended inorganic impurities and even organic compounds, reliably disinfect water from bacteria, viruses and fungi, and be an environmentally safe reagent [2-5].

The set and procedure for solving a specific problem, for the use of "Aquaton-10" reagent in water treatment in military field conditions included the development of 3 areas: (1) treatment of water from an unknown source for direct drinking, (2) use of the reagent as part of water treatment devices used to prepare drinking water, and (3) treatment of table surfaces, etc. for cooking in military field conditions.

Regarding the solution of the first of these areas, it should be noted that the mechanism of biocidal action of PHMG-gch is polyfactorial and membranotropic in nature [2], and such cationic polyelectrolytes cause flocculation of dispersed systems mainly by the mechanism of charge neutralization. At the same time, due to the adsorption of polyions on the surface of an oppositely charged particle, an effective decrease in surface charge occurs and at the point of zero charge, the colloidal dispersion loses aggregation stability. And excessive adsorption of the polymer on the particle surface recharges the particle surface and stabilizes the dispersed system, which provides a fairly clear distribution of the formed sediment and disinfected supernatant water, which can be safely consumed for drinking. The relevant Methodological Guidelines have been developed and approved by the Ministry of Health of Ukraine, as well as the Instruction for such use of the "Aquaton-10" complex action reagent, and the packaged dosed reagent (based on a certain amount of water) is produced and supplied to the troops by the STC "Ukrvodbezpeka".

As part of water treatment devices (portable, individual, on vehicles), Aquaton-10 reagent is used to treat water intake hoses, filter media and tanks for storing purified water. These procedures and the procedure for their implementation are specified in the relevant methodological documents developed by the STC "Ukrvodbezpeka" and approved by the Ministry of Health of Ukraine.

When treating surfaces in military field conditions, "Aquaton-10" and other reagents with PHMG as an active ingredient are used for wiping or irrigation. The positive experience of such use of the surface treatment reagent was gained back in 2020 from Antonov Airlines, whose aircraft flew cargo delivery flights to fight the coronavirus from China to different countries of the world. The advantages over alcohol-based antiseptics are the absence of corrosive activity of the reagent, its safety for humans and the environment, and its prolonged effect [2-5]. The developed Methodological Guidelines of the Ministry of Health of Ukraine and the Instruction for the use of the complex action reagent "Aquaton-10" are currently used by the relevant structures in the field to provide food for the military.

Thus, the organization and conduct of water supply for military units of the Armed Forces of Ukraine in the field is a complex and urgent problem. The analysis of existing methods and engineering measures for the preparation of water for drinking and some sanitary measures in military field conditions shows that a number of tasks are not solved. In previous years, with the participation of the authors, the STC "Ukrvodbezpeka", NTUU "KPI" and ONTU conducted a set of scientific and practical studies of the complex action reagent "Aquaton-10" (active ingredient PHMG-gch, developed by STC "Ukrvodbezpeka", Kyiv), which can be used and is

being implemented to optimize drinking and sanitary water supply in the Armed Forces.

### References

1. Король Я., Лісниченко Ю., Бойко Г.. Проблемні питання водопостачання підрозділів сухопутних військ збройних сил України в польових умовах. / Зб наук праць НА Державної прикордонної служби України. Серія «Військові та технічні науки».2019. № 3(81). С.376-390.
2. Реагенти комплексної дії на основі гуанідинових полімерів. / Випуски 1-6. – К.: Укрводбезпека, 2003-2023 рр.
3. Strikalenko T., Nizhnik T., Nizhnik Yu., Baranova G. Aprobaciya TOS-Podhoda dlya Upravleniya Riskami v Vodospabzhenii. - World Science. 2019. №7(47), Vol.1. P.4-9. doi:10.31435/rsglobal\_ws/31072019/6584
4. Maglyovana T., Nizhnik T., Strikalenko T., Nizhnik Yu. Analysis of the possibility of environmental risk management by using innovative water treatment technology. - Sciences of Europe (Praha, Czech Republic) – 2021. No 85. Vol. 1. P. 29-39
5. Баранова Г, Магльована Т, Стрікаленко Т, Нижник Т. Інноваційна технологія як засіб управління ризиками у водопостачанні./«Водопостачання і водовідведення: проектування, будівництво, експлуатація, моніторинг»: Мат-ли IV міжнар. науково-практ. конф.. НУ «Львівська політехніка». - Львів, 2021.С.90-91.ВПП-17-С.135.

## **СЕКЦІЯ 4**

# **ВОДОПІДГОТОВКА У ХАРЧОВИХ ВИРОБНИЦТВАХ: СТАН ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ**

**Study of filtering properties of obsidian and flint in water conditioning**

**Iryna Samchenko, Inna Karpovych**

*National University of Food Technologies*

**Introduction.** When conditioning water for the production of beverages, the filtering method is mandatory, during which it is cleaned of mechanical impurities, colloidal suspension, sediment flakes.

Currently, it is important to improve the method of mechanical filtering of water with the use of new effective filter materials.

**Materials and methods.** The use of a complex of filter materials for water filtration, which consists of obsidian and flint, was investigated. The complex has optimal properties as a filter loading material, is chemically resistant, has bactericidal properties. Thanks to this, the complex is able to purify water from organic and inorganic substances, as well as organochlorine substances.

The optimal technological mode for obtaining water has been determined, which in terms of quality meets the requirements of DSanPiN 2.2.4-171-10 "Hygienic requirements for drinking water intended for human consumption".

**The results.** Filtration speed 25 cm<sup>3</sup>/min.

The loading material is a complex consisting of two minerals: obsidian and flint.

Obsidian is a highly effective filter material that is used for water dechlorination, cleaning from mechanical suspensions, organic impurities, taste and smell correction. Flint is a dark gray mineral that forms silicic acid in water, which, when it enters the human body, dissolves slags and salt deposits in organs.

Regeneration of the filter, which consists of two equal parts of obsidian and flint, is carried out by backwashing with a regeneration solution, namely, a weak acid solution that is not toxic and does not form toxic substances. As a result, micropores open on the surface of the coal, due to which the contact surface between the material and the liquid increases significantly.

It was established that the amount of hydrochloric acid solution for processing a mixture of minerals is reduced by 1.6 times, compared to the processing of flint.

Thanks to the complex use of obsidian with flint in water conditioning, it is possible to improve the main organoleptic and physicochemical indicators, namely: removal of free chlorine - up to 80%; removal of organic pollutants - up to 90%; improvement of the pH indicator (the indicator changes from 7.6 to 6.7); improvement of smell and taste - up to 95%

**Conclusions.** On the basis of the given data, a conclusion can be drawn regarding the effectiveness of the use of a complex of obsidian and flint minerals as an effective filter material during water conditioning for the production of beverages.

**Дослідження фільтрування води за допомогою кокосового активованого вугілля**

**Ірина Самченко, Світлана Олійник**

*Національний університет харчових технологій*

**Вступ.** Від води підготовленої, яку застосовують у виробництві напоїв залежить висока якість та стійкість готового напою, тому одним із найважливіших етапів технологічного процесу виробництва продукції є водопідготовка. Одним з найефективніших рішень при підготовці води є її механічне очищення за допомогою різних фільтрувальних матеріалів.

**Матеріали і методи.** Досліджено фільтрувальний матеріал, визначено оптимальний технологічний режим для отримання води, яка за якістю відповідає вимогам ДСанПіН 2.2.4-171-10 «Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною».

Проаналізовано зразок води, очищений за допомогою системи вугільної фільтрації, яка складається з 4 завантажувальних фільтрів з різним діаметром пор (від 10 до 40 мкм), розташованих послідовно.

**Результати.** Швидкість фільтрації через шар фільтрувального матеріалу -  $20 \text{ см}^3/\text{хв}$ .

Завантажувальний матеріал – це кокосове активоване вугілля, яке виготовлене зі шкаралупи кокосового горіха для дехлорування води, очищення від органічних забруднень, механічних суспензій різного походження, коригування смаку і запаху.

Одними з основних характеристик кокосового активованого вугілля є: вузький гранулометричний розподіл, велика адсорбційна ємність, висока щільність, міцність на механічне і динамічне стирання.

Конструкція фільтру передбачає можливість його дешевого та високотехнологічного очищення, регенерації та відновлення.

Регенерація вугільного фільтру здійснюється зворотною промивкою слабким розчином кислоти, яка утворює в результаті реакції із кокосовим активованим вугіллям та адсорбованими з розчинів іонами важких металів та радіонуклідів розчинні солі; не є токсичною і не утворює токсичних речовин. В результаті на поверхні вугілля відкриваються мікропори, за рахунок яких значно збільшується поверхня контакту між матеріалом та рідиною.

Завдяки механічному очищенню з використанням кокосового активованого вугілля з різним діаметром пор, можна досягнути покращення основних органолептичних та фізико-хімічних показників, а саме: видалення вільного хлору – до 90 %; видалення органічних забрудників – до 93 %; покращення показника рН (показник змінюється від 7,5 до 6,8); покращення запаху та смаку – до 90 %

**Висновки.** Отже, завдяки механічному фільтруванню води через систему кокосової вугільної фільтрації, можна досягнути покращених показників якості та безпечності.

**Застосування фільтруючих матеріалів для очищення води від заліза і марганцю у виробництві алкогольних напоїв****Світлана Олійник, Захарій Палійчук***Національний університет харчових технологій, Київ, Україна*

**Вступ.** У сучасних умовах актуальним є застосування нових ефективних матеріалів, що забезпечують якісне очищення води. Згідно з вимогами ДСанПіН 2.2.4-171-10 вміст заліза у воді питній не повинен перевищувати 0,2 мг/дм<sup>3</sup>, марганцю 0,05 мг/дм<sup>3</sup>. Для води підготовленої, яку використовують для виробництва алкогольних напоїв, вміст заліза та марганцю не повинен перевищувати 0,05 мг/дм<sup>3</sup>. У деяких регіонах країни вміст у воді питній заліза, марганцю та сірководню перевищує гранично допусті норми в 5-20 разів. Наразі для кондиціювання води за вмістом заліза та марганцю використовують імпортовані матеріали, які є дороговартісними та не завжди повною мірою відповідають рішенням поставлених завдань.

**Результати.** Фільтруюче середовище Manganese Greensand — глауконітовий зелений пісок, що є природним матеріалом, на поверхню якого нанесені сполуки марганцю. Його використовують як каталізатор в процесі видалення розчинених у воді з'єднань марганцю і заліза. Основним недоліком використання Manganese Greensand є те, що в процесі експлуатації необхідна його попередня обробка розчином перманганату калію. Перед початком експлуатації для отримання на поверхні фільтруючого матеріалу (ФМ) Manganese Greensand шару вищих оксидів марганцю завантаження попередньо обробляють розчином перманганату калію, або його необхідно постійно дозувати у воду за допомогою системи пропорційного дозування.

Фільтруюче завантаження Quantum DMI-65, яке являє собою каталізаційний пісок, призначено для видалення із води заліза та марганцю, без його регенерації розчином перманганату калію. Принцип дії Quantum DMI-65, базується на окисненні розчинених заліза та марганцю і осадженні оксидів у товщі завантаження. Завдяки мікропористій структурі, завантаження дає змогу ефективно знижувати у воді вміст заліза до 0,005 мг/дм<sup>3</sup>, марганцю — до 0,001 мг/дм<sup>3</sup>. Однак, Quantum DMI-65 використовують з одночасним дозуванням гіпохлориту натрію у концентрації 0,1-0,3 мг/дм<sup>3</sup>, що є негативним у виробництві алкогольних напоїв.

Застосовують ФМ МФО 47, що містить як основу зернистий матеріал природного походження – горіла порода вугільного родовища, на поверхності якої утворено каталітично активний шар, що складається з суміші оксидів MnO, Mn<sub>2</sub>O<sub>3</sub> та MnO<sub>2</sub>. Зернистий матеріал піддають обробці розчином модифікуючого реагенту, що містить солі марганцю. ФМ МФО 47 очищає воду від розчинених у ній солей марганцю заліза, але не видаляє сірководень.

Pyrolox Regular — гранульоване завантаження, яке є мінеральним матеріалом природного походження зі спеціальним покриттям на основі діоксиду марганцю. Механізм дії ФМ Pyrolox Regular: за допомогою діоксиду марганцю відбувається каталітична реакція окиснення заліза, марганцю,

сірководню. Нерозчинні сполуки, що утворюються в результаті окиснення, випадають в осад, затримуються в завантажувальному шарі і згодом видаляються в процесі зворотного промивання.

Для відновлення фільтруючої здатності матеріалу Pyrolox Regular відсутня потреба у додаткових хімічних реагентах. Регенерацію здійснюють шляхом зворотної промивки, що є головною відмінністю даного завантаження від інших завантажень каталітичного типу, наприклад, Birm.

Для ефективної роботи ФМ Pyrolox Regular необхідно дотримуватись певних вимог до вмісту у воді домішок та не перевищувати для: загального заліза (або марганцю) 6 мг/дм<sup>3</sup>; вільного хлору — 0,5 мг/дм<sup>3</sup>; хлоридів і сульфатів вдвічі меншим за лужність. Водневий показник води повинен бути у межах 7,0-8,5, відсутні поліфосфати, нафтопродукти і крупнодисперсні частинки.

Каталітичне вугілля GAC PLUS — гранульоване активне вугілля, що використовується для очищення води від сірководню, домішок важких металів та заліза, нафтопродуктів, кондиціонування за органолептичними показниками прозорості, запаху та смаку, Використовується для видалення з води заліза в концентрації до 5 мг/лм<sup>3</sup> та сірководню до 4 мг/дм<sup>3</sup>.

Матеріал виготовляється шляхом агломерації дрібних частинок бітумінозного вугілля. Завантаження GAC PLUS може використовуватися в поєднанні з аерацією, озонуванням, хлоруванням або іншими методами очищення води. Каталітичне вугілля GAC PLUS має високу активність, велику адсорбційну ємність за видаленням органічних домішок.

Досліджено ФМ, який містить як основу зернистий матеріал природного походження, на поверхні якого каталітичний активний шар, що містить суміш гідроксиду марганцю  $Mn(OH)_2$  та оксиди марганцю  $Mn_2O_3$  та  $MnO_2$ . Концентрація сірководню після сорбції на досліджуваному фільтруючому матеріалі менше, ніж після сорбції матеріалом МФО в 5-20 разів. Статична обмінна ємність є більшою у 2,0-2,7 рази ніж для відповідного показника матеріалу МФО. Модифікація матеріалу дозволяє без попередньої обробки фільтруючого матеріалу розчином перманганату калію видаляти з води не тільки залізо та марганець, а й сірководень, що є перевагою по відношенню до інших фільтруючих матеріалів.

**Висновки.** Фільтруючі матеріали Birm, Manganese Greensand, QUANTUM DMI 65, МФО, Pyrolox Regular використовують в системах водопідготовки за різних показників якості води, способів підготовки та основного очищення.

### **Перелік джерел інформації**

1. Сучасні шляхи до чистої води: колективна монографія / І.М.Андрусина, В.С. Бурлакова, С.Л.Василіук та інш. Електронні текстові дані (1 файл: 59,0 Мбайт). Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2024. 376 с.

**Фільтрування води у лікєро-горілчаному виробництві із застосуванням антрацитових фільтрантів**

**Світлана Олійник, Богдан Дем'янов**

*Національний університет харчових технологій, Київ, Україна*

**Вступ.** У технологічних схемах водопідготовки перед основними стадіями пом'якшення, сорбційного очищення потрібно позбутися колоїдних і зважених часток. Для цієї цілі використовують різні системи попередньої обробки води з наступною фільтрацією.

Фільтрування – фізико-хімічний процес, заснований на адгезії зважених та колоїдних домішок води до зерен фільтруючого матеріалу. Фільтрувальні системи застосовуються для зниження кількості зважених частинок та каламутності води. Як фільтруючі матеріали використовують хімічно інертні матеріали (кварцовий пісок, подрібнений антрацит, мармурову крихту тощо) [1]. Антрацитові фільтранти не мають шкідливих для людини властивостей, не утворюють у воді та повітряному середовищі токсичних сполук, хімічно стійкі, нерозчинні в нейтральних, лужних та кислотних водних середовищах

**Результати.** Досліджено фільтруючий матеріал – підготовлений антрацитовий фільтрант, що виготовляється з високоякісних, високоміцних, низькозольних, низькосірковмісних сортів антрациту.

При використанні антрацитів як фільтруючих матеріалів велику роль відіграють їх фізико-механічні властивості: міцність, твердість; пружність, крихкість і подрібнюваність.

Підготовлений антрацит має високу механічну міцність, достатню хімічну стійкість: вміст сірки – до 1 %; зольність – менше ніж 4 %; подрібнюваність – до 2,5 %; міцність на стирання – до 0,5 %.

Для підтримуючого шару освітлювальних фільтрів у системі водоочищення застосовують зерна підготовленого антрациту фракцій: 1,5 – 3,0 мм; 1,6 – 4,0 мм; 2,0 – 5,0 мм. Як основне фільтруюче завантаження застосовують фракції підготовленого антрацитового фільтранту: 0,5 – 1,5 мм; 0,6 – 1,6 мм та 0,8 – 2,0 мм.

**Висновки.** Використання спеціально підготовленого антрациту вказує на його придатність до застосування у фільтрах попередньої механічної очистки води. Використання підготовленого антрацитового фільтранта, як матеріалу для попередньої фільтрації, в т.ч. із застосуванням пом'якшення знижує навантаження на іонообмінні фільтри. Це дозволяє знизити забруднення іонообмінних смол і таким чином збільшити термін їх служби.

**Перелік джерел інформації**

1. Сучасні шляхи до чистої води: колективна монографія / І.М.Андрусишина, В.С. Бурлакова, С.Л.Василюк та інш. Електронні текстові дані (1 файл: 59,0 Мбайт). Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2024. 376 с.



**Водне господарство цукрового заводу та напрями його вдосконалення на шляху України до Європейського Союзу**

**<sup>1</sup>Володимир Кухар, <sup>1</sup>Олександр Чернявський, <sup>1</sup>Віталій Саповський,**

**<sup>2</sup>Олександр Кухар, <sup>3</sup>Людмила Чернявська**

*<sup>1</sup>ТОВ «КОМПАНІЯ «ТМА», м.Київ*

*<sup>2</sup>Яготинський механічний завод*

*<sup>3</sup>Інститут продовольчих ресурсів НААН України*

**Вступ.** Бурякоцукрове виробництво в Україні в своїй господарській діяльності використовує велику кількість води – близько 1000 % до маси перероблюваних буряків. Основна кількість води використовується для транспортування буряків на переробку та їх відмивання від прилиплої землі. Перед переробкою коренеплодів необхідне їх очищення від легких та важких домішок, а також від землі. Якщо домішки видалені недостатньо якісно, то значні кількості залишкових забруднень надходять на виробництво на цукровий завод, викликаючи підвищену витрату бурякорізальних ножів, додаткове зношування обладнання в бурякопереробному відділенні, розвиток патогенної мікрофлори при екстракції сахарози, підвищені втрати сахарози, проблеми при фільтрації соків і високий вміст нерозчинної в НС1 золи в буряковому жомі [1, 2]. Всі види обладнання, що використовуються в мийних відділеннях цукрових заводів, вимагають для своєї нормальної роботи багато підготовленої оборотної транспортерно-мийної води. Ці питання вирішуються шляхом впровадження у виробництво сучасних мийних комплексів та ефективно працюючих відстійників транспортерно-мийної води [1, 2].

Спеціалізовані наукові організації та інжинірингові компанії при розробленні концепції сучасних мийних комплексів цукрових заводів та теоретичних основ та набору обладнання для видалення легких і важких домішок та відмивання буряків у мийному комплексі, на підставі аналізу складу буряків, що надходять з полів, розглядають забезпечення якісного відмивання коренеплодів у кілька етапів:

Етап 1. Відділення легких незв'язаних домішок: виконується за рахунок спливання (флотації) легких домішок у водно-буряковому потоці з їх подальшим винесенням та відокремленням від води при її фільтруванні;

Етап 2. Механічна мийка: здійснюється самоочищення буряків за рахунок тертя та обертання коренеплодів. Повне видалення забруднень обмежено борозенками, в яких може знаходитися прилипла земля, а також зв'язаною гичкою, що залишилася на голівці коренеплода після збирання гичкозбиральною машиною;

Етап 3. Миття струменевою мийкою. Видалення забруднень з борозенок буряків і з поверхні коренеплодів струменями високого тиску та ополіскування їх чистою водою.

**Матеріали і методи.** В якості матеріалу для досліджень використовували транспортерно-мийну воду з метою створення замкнутої системи її очищення

та повторного багаторазового використання в схемі та економного використання природних водних ресурсів.

Якість транспортерно-мийної води визначається [3]: наявністю суспензій у вигляді твердих і дрібнодисперсних часток, піску, супіску, глини, чорнозему, кількість їх становить від 10 до 30% загального обсягу води, підвищуючи, у свою чергу, її густину; кількістю плаваючих домішок, що пройшли через сита домішкоуловлювачів: дрібних шматочків (5-0,5 мм) бою буряків, насіння, лушпиння, опалого сухого листя, різних трав; невисокою температурою (не вище 20°C), щоб не викликати інтенсивного вимивання цукру, розвитку термофільних бактерій та інтенсифікації процесів бродіння. Транспортерно-мийні води повинні мати лужну реакцію ( $\text{pH} > 8,5$ , найбільш ефективна коагуляція при  $\text{pH} = 9,25-11,5$ ) з метою ослаблення бродіння та поліпшення коагуляції; вода також не повинна бути джерелом інфекції, тому що при цьому порушується нормальний технологічний режим на заводі, збільшуються втрати цукру.

ТОВ «КОМПАНІЄЮ «ТМА» для оснащення мийних відділень реконструйованих цукрових заводів було розроблено низку сучасного обладнання великої виробничої потужності: соломоботвоуловлювач стрічковий марки ТМА-СБТ-900, водовідділювач дисковий 12-ти валковий з приводом на кожен валок окремо -ВДФ-900, уловлювач легких домішок марки ТМА-УЛП-10 в комплекті зі шнековими конвеєрами, ситчастим конвеєром, ванною ополіскувача, коритна мийка двовальна комбінована ТМА-ПМД-10, фінішна ролико-форсункова мийка ТМА-МР-10 для очищення кореневих бороzenок та видалення прилиплої ґрунту від коренеплодів шляхом багаторазового їх обертання на валках із застосуванням води високого тиску (від 7 до 10 бар), барабан сортувальний після УЛП ТМА-БС-41 для остаточного поділу товарної бурякомаси та домішок та їх видалення, спарені фільтри ФСП-500 для очищення освітленої оборотної води на перші 6 рядів ролико-форсуночного миття.

Для вирішення питань підготовки, очищення та економного використання води кожен цукровий завод повинен мати сучасні споруди для очищення вод II категорії [2]. Відстійники типових конструкцій бувають періодичної, напівбезперервної та безперервної дії. До відстійників періодичної та напівбезперервної дії належать відстійники застарілих типів - земляні карти, проточні земляні, секційні (типу Чекурди) та радіальні відстійники, які мають суттєві недоліки: низький ефект очищення та малий ступінь згущення осаду, звідси - велика кількість стічних вод III категорії, відсутність фактора розподілу за фракціями (легкі, важкі, зважені частки); велика займана площа (в основному родючі ґрунти); відсутність можливості регулювати продуктивність, кількість води у відстійнику, час та швидкість осадження та концентрування суспензій; в зимовий час - низька температура освітленої води, що призводить до обмерзання, замерзання та поганої подачі буряків на завод; відсутність можливості регулювати рН та дотримуватися заданих параметрів цього показника; відсутність ефективного застосування дезінфекції води, обробки коагулянтами та флокулянтами повного об'єму; значна втрата маси води в

результаті випаровування з поверхні, інфільтрації в ґрунт, розкладання та гниття в об'ємі очищеної води, відсутність можливості автоматизації; великі фінансові витрати на ремонтно-відновлювальні роботи, пов'язані з трудомісткістю очищення відстійників від осаду, що накопичився, зміцненням обваловок і дамб; екологічні проблеми: забруднення підземних вод, повітряного басейну, довколишніх водойм.

Сучасні вітчизняні очисні споруди – вертикальні відстійники-згущувачі, модернізовані марки Ш1-ПОС-3 та ВОУ-1 виготовляються Яготинським механічним заводом. Вони призначені для очищення транспортерно-мийних вод від домішок бурякомаси.

**Результати.** Концепція реалізована на 2 цукрових заводах України: Гайсинському (2007 р.) та Саливківському (2018 р.).

У процесі експлуатації змонтованого обладнання значно покращилися показники якості транспортерно-мийної води. У кілька разів знизилася наявність зважених часток у вигляді твердих та дрібнодисперсних частинок, піску, супіску, глини. Видалено велику кількість плаваючих домішок, що не пройшли через сита домішокуловлювачів, дрібних шматочків (5–0,5мм) бою коренеплодів буряків, насіння, лушпиння, опалого сухого листя різних трав.

**Висновки.** Як результат якісного очищення води на вертикальних відстійниках – згущувачах ВОУ-1, можливість при великій забрудненості буряків та розмірах лотків гідротранспортера на продуктивність 3 тис. т. буряків на добу, безперешкодно здійснювати подачу буряків на завод понад 7 тисяч тонн буряків на добу. Ефект очищення води становив 88–92 %. За рахунок збільшення густини осаду, що видаляється з відстійників, на 30 % знизилася кількість води, що видаляється на поля фільтрації.

Застосування освітлювачів ТМА-Ш1-ПОЕ дало можливість знизити витрати свіжої річкової води на миття і транспортування буряків на 40–50 %. Миття та ополіскування буряків на заводі проводиться тільки освітленими водами після доочищення їх на освітлювачах [2].

Використання вертикальних відстійників-згущувачів ТМА-ВОУ-1 у комплексі з доосвітлювачами води II категорії ТМА-Ш1-ПОЕ дозволило досягти загального ефекту:

- знизити втрати цукру у транспортерно-мийній воді на 0,01–0,015%;
- зменшити енергоспоживання з 0,02 квт на м<sup>3</sup> до 0,005 квт на м<sup>3</sup>;
- знизити водоспоживання у 2 рази;
- вирішити екологічні проблеми: знизити забруднення підземних вод, повітряного басейну, прилеглих водойм.

### **Перелік джерел інформації**

1. Кухар В.М. Розроблення та впровадження нових видів обладнання для трактів подачі та мийних комплексів цукрових заводів. Тези доповіді на міжнародній науково-технічній конференції «Перспективи розвитку цукрової промисловості України» 26-27 березня 2019 року, м. Київ.

2. Хоменко М.Д., Кухар В.М., Саповський В.Д. Прогресивна технологічна схема мийного відділення з використанням сучасних процесів інтенсифікації та

обладнання для відмивання цукрових буряків / М.Д. Хоменко, В.М. Кухар, В.Д. Саповський // Цукор України.-2014.-№ 5. с.

3. Кухар В.Н., Чернявская Л.И. Потери массы и сахарозы на тракте подачи свеклы в завод и пути их снижения. ЦукорУкраїни. 2015. №11-12(119-120), с. 59–64.

UDC 621.039.5:628.16

### **Ways to improve the design and operating parameters of the desalination freezing plant**

**Bogdan Vasyliv, Volodymyr Doroshenko, Oleh Vasyliv**

*Odesa National Technological University, Ukraine*

Water desalination is considered one of the most effective ways to increase water supply and provide water to millions of people in regions with a shortage of fresh water. The gross global operating capacity of desalination plants is 95.37 million m<sup>3</sup>/day of fresh water. Seawater desalination accounts for 59%, followed by brackish water (23%), river water (7%), wastewater (5%) and other sources (6%) [4].

The known desalination methods are classified into two categories: (1) including phase change of salt water (evaporation and freezing), (2) excluding phase change of salt water.

The authors of [4] summarised experimental data on plant capacity, energy consumption, cost, operating temperature, environmental impact and CO<sub>2</sub> emissions for different desalination methods. According to this analysis, energy consumption and the cost of producing drinking water are lower for desalination methods that do not change the phase state of the water. Similar trends were found for drinking water production capacity and CO<sub>2</sub> emissions. The authors note that traditional desalination methods (multi-efficiency distillation, multi-stage flash distillation, mechanical vapour compression, membrane distillation, reverse osmosis) have a serious impact on the environment. After all, the discharge of brines with high temperature and salt concentration increases the temperature and salinity of seawater.

Freeze-drying desalination has advantages over evaporation and membrane desalination methods. Thermodynamically, the latent heat of freezing and vapourisation of water is 330 kJ/kg and 2256 kJ/kg, respectively. This means that this process requires approximately 1/7 of the latent heat required for evaporation-based desalination processes. The use of sub-zero temperatures reduces the risk of corrosion and scale formation. The insensitivity to fouling is another important advantage of freeze-drying compared to membrane-based desalination processes, which are generally prone to fouling and require frequent maintenance. In the event of excessive fouling, cleaning the membranes is very difficult. Here, too, there is no need for intensive pre-treatment of salt water.

Importantly, freeze-drying desalination can process concentrated brine with close to zero liquid discharge, either alone or in combination with membrane distillation and crystallisation [4].

It is known that direct contact and indirect heat transfer methods are used to carry out this process. In indirect methods, the wall of the crystalliser separates seawater and refrigerant (coolant). Here, water desalination can be carried out by crystallisation in the form of a suspension with subsequent separation (SFC) or by directed crystallisation with the formation of ice layers of a certain thickness on the surface of the crystalliser.

The main stages of the SFC process are the nucleation of crystals, their growth, separation of ice crystals from the concentrated liquid and further processing of ice crystals to improve their purity. The method is characterised by the formation of many small ice crystals suspended in a solution from which water is frozen under constant stirring. The ice crystals grow according to the Ostwald ripening mechanism. A separate heat exchanger is required to obtain the ice seed for crystal nucleation. Consequently, SFC requires a complex system with special controls, which makes it the most expensive of the other freeze-dried brine desalination methods.

The process of layered freezing results in the formation of a single and large ice crystal on the cooling surface. This process is carried out by progressive freeze-drying, freeze-drying from a falling film of solution and block freeze-drying.

A review in [4] shows that freeze-drying desalination methods can produce fresh water from seawater and brackish water. The parameters that need to be optimised are the rate of salt extraction from the ice into the liquid phase, the growth rate of ice crystals, the amount of supercooling of the liquid, the technology of water pre-treatment, and the technology and modes of ice separation.

All desalination methods by freezing have a lower drinking water production capacity than desalination methods based on membranes and steam generation [2, 3].

Today, research teams both in the world and in Ukraine, including those at Odesa National University of Technology, are engaged in the development of equipment for desalination technologies based on the principle of freezing water from saline solution [1-6].

Papers [2, 3] provide a comparative analysis of traditional methods of water demineralisation and outline the prospects for low-temperature desalination methods, and propose the idea of improving block freezing apparatus by converting them to a continuous mode of operation. To achieve this goal, a universal design of the apparatus was proposed, in which the processes of crystallisation, separation and melting of ice are sequentially implemented. A module for a continuous seawater desalination plant has been developed. The time of the ice block formation process is justified in terms of minimising energy consumption.

At the same time, the issues of energy efficiency of the process, the degree of water desalination, the technical design of the plants and the technology of desalination using this method remain relevant.

In order to intensify the processes of heat and mass transfer, it is proposed to use a structure of finned tubular crystallisers, which will increase the efficiency of ice freezing and its subsequent separation.

To implement this approach, it is necessary to develop a methodology for calculating the crystalliser, study the crystallisation modes depending on salinity and

solution composition, and optimise the separation process and the design parameters of the plant as a whole.

### **List of sources of information**

1. Desalination technologies, membrane distillation, and electrospinning, an overview / M.B. Abid et al. *Heliyon*. 2023. С. e12810. URL: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e12810>.

2. Development of Low-Temperature Block Type Facility for Sea Water Desalination / O. Burdo et al. *Problems of the Regional Energetics*. 2022. № 2(54). URL: <https://doi.org/10.52254/1857-0070.2022.2-54.02>.

3. Development of the design and determination of the mode characteristics of the demineralizer for sea water / O. Burdo et al. *ScienceRise*. 2021. № 2. С. 47–53. URL: <https://doi.org/10.21303/2313-8416.2021.001814>.

4. Najim, A. A review of advances in freeze desalination and future prospects. *npj Clean Water* 5, 15 (2022). <https://doi.org/10.1038/s41545-022-00158-1>

5. Василів, О. Б. Опріснення водивиморожуваннямвустановціізмінноювциклітемпературоюоколо доносія [Текст] / О. Б. Василів, О. С. Тітлов, С. В. Іщенко // *Харчованаукаітехнологія*. – 2011. – №4(17). – С. 103-106.

6. Пат. 128629 Україна, МПК С02F1/22 Е03В3/28. Установа для опріснення та одержання води з атмосферного повітря / Василів О.Б., Коваленко О.О., Проць Б.М., Вовченко А.І; Заявник та патентовласник Одеська національний технологічний університет. – № а202200703; заяв. 17.02.2022; опубл. 04.09.2024, Бюл. № 36/2024.

## **СЕКЦІЯ 5**

# **ВПРОВАДЖЕННЯ МЕМБРАННИХ ТЕХНОЛОГІЙ ДЛЯ ПОЛІПШЕННЯ ЯКОСТІ ПИТНОЇ ВОДИ ТА НАПІВПРОДУКТІВ ХАРЧОВИХ ВИРОБНИЦТВ**

**Вилучення Cu зі шламу гальванічного виробництва та електроосадження на електроді**

**Роман Кліщенко, Раїса Чеботарьова, Сергій Ремез**

*Інститут колоїдної хімії та хімії води ім. А.В. Думанського Національної Академії Наук України, м. Київ*

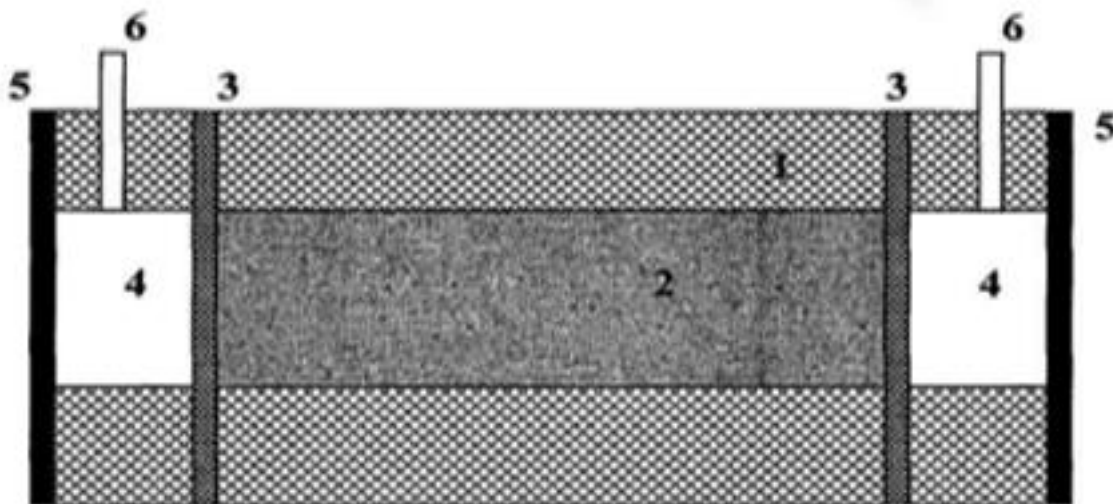
**Вступ.** При очищенні стічних вод підприємств електронної, радіо- та електротехнічної промисловості утворюються тверді відходи, відмінною особливістю яких є наявність великої кількості Cu (3–15 %), до 60 % сполук Fe, присутні інші важкі метали, а також близько 10 % важкорозчинних сполук Si, Cr, Ca, та до 10 % органічних речовин [1, 2]. Вилучення цінних кольорових металів із шламів гальванічних виробництв є важливою проблемою.

Відомі способи двохступеневого вилучення купруму зі шламів шляхом гідрометалургійного розчинення мідьвмістної фракції у кислотному розчині на першій стадії з подальшим електроосадженням металу з розчину на електроді на другій стадії [3]. Недоліками способів двоступеневого одержання чистої Cu з гальваношламу є витрати великої кількості реагентів та електроенергії. Оскільки для забезпечення повноти видалення Cu зі шламу (>99 %) необхідним є не менш ніж 5-кратний надлишок розчину кислоти по відношенню до маси шламу, та витрата великої кількості електроенергії на електроосадження Cu з розведеного розчину [4]. Відомі також варіанти двоступеневого вилучення Cu шляхом попереднього концентрування металу в прикатодній камері електродіалізного апарату з подальшим її електроосадженням у вигляді чистого металу на електроді [5]. Стадія вилуговування Cu потребує досить тривалого часу та значних витрат реагентів-вилуговувачів й додаткового устаткування.

Метою даної роботи була розробка одностадійного процесу електрохімічного вилуговування Cu з вологого гальваношламу та електроосадження її на катоді.

**Матеріали та методи.** В роботі використовували шлам з вихідною вологістю 34,7 %, який містив 9 – 10 % Cu у вигляді оксихлориду Cu, та близько 30 % Fe, у вигляді гідроксокомплексів змінного складу. Процес вилучення Cu з гальванічного шламу проводили в 3-камерній електрохімічній комірці, принципова схема якої показана на рис. 1.

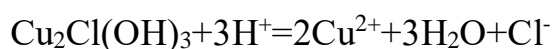




**Рис. 1. Комірка складається з корпусу 1, камери для завантаження вологого шламу 2, катіонообмінних мембран МК-40 3, електродних камер 4 з пластинчастими електродами 5 і газовідвідними трубками 6**

Електродні камери 4 заповнювали 0,1 М розчином  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ , для забезпечення електропровідності системи. Процес електроміграції Сувели в потенціостатичному режимі при напрузі на електродах 25, 30 і 35 В безперервно протягом 24 – 28 год. при температурі 18 – 25°C. Мідь, у вигляді  $\text{Cu}^{2+}$ -іону мігрує до катодної камери, де відбувається її осадження у вигляді компактного металевого осаду на мідному катоді.

**Результати.** При накладанні електричного струму починається електроміграція катіонів в напрямку катодної камери, насамперед іонів водню, які мають найбільшу рухливість порівняно з іншими іонами. Також на аноді генеруються іони водню, які мігрують до катода, проходячи крізь об'єм шламу і розчиняючи при цьому сполуки Cu. Перехід оксихлориду купруму в водний розчин відбувається у діапазоні значень рН 2,5 – 5,0 за реакцією:



Одночасно з Cu можуть розчинятися гідроксиди Fe, але їх розчинення починається при значеннях рН < 2,6 [2]. Тому, для обмеження потрапляння Fe у катодну камеру, яке перешкоджає електроосадженню Cu, процес електротранспорту Cu регулювали шляхом зміни напруги на електродах в діапазоні від 10 до 35 В. На рис. 2 представлено зміни ступеня вилуговування Cu та рН розчину у електродній камері залежно від напруги на електродах. Як бачимо з рис. 2 рН розчину в камері 2 при підвищенні напруги на електродах зменшується, а ступінь вилучення Cu зростає.

Підвищення продуктивності вилучення купруму обумовлено інтенсифікацією масопереносу завдяки посиленню електроміграції та електроосмосу у порах гальванічного шламу зі зростанням напруги на електродах.

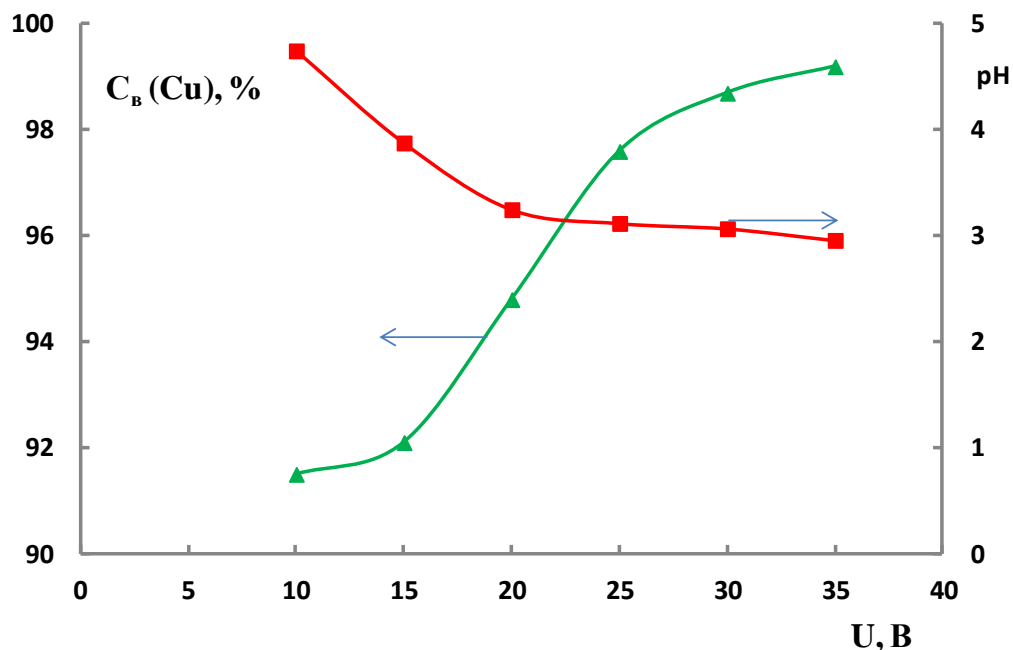


Рис.2. Залежність рН розчину (червона крива) та ступені вилучення Cu (зелена крива) від напруги на електродах електрохімічної комірки

**Висновки.** Таким чином, було показано, що вилучення Cu з вологого гальванічного шламу в одну стадію забезпечує ступінь вилучення Cu 97,8 – 99,1 %, при витраті електроенергії на електроосадження 1 кг Cu до 2,1 – 2,4 кВтгод.

Використання нового технологічного прийому, а саме суміщення двох процесів – вилуговування купруму з шламу та електроосадження на електроді, забезпечує досить високий ступінь вилучення Cu з шламу, та зменшення часу вилучення Cu у порівнянні з двостадійним способом здійснення процесу і, як наслідок, зменшення енерговитрат.

#### Перелік джерел інформації

1. Basir A. Hydrometallurgical recovery of metal values from brass melting slag. *Hydrometallurgy*. 1999. Vol.53. P. 31 – 34.
2. R.E. Klishchenko, R. D.Chebotareva, V.Ya. Demchenko, S.V.Remez. Adsorption of copper on modified galvanic sludge. *Journal of Water Chemistry and Technology*. 2024. Vol. 46, issue 3. P. 302 – 308
3. Olfat A., M. R. Kumar. An overview of metals extraction and recovery from industrial wastewater sludge. *The Canadian Journal of Chemical Engineering*. March 2024. Vol.102(8)
4. Huyen P. T. et al. Electrochemical copper recovery from galvanic sludge. *Hydrometallurgy*. 2016. Vol. 164. P. 295–303.
5. V. Maltrana, J. Morales. The Use of Acid Leaching to Recover Metals from Tailings: A Review. *Metals*. 2023. Vol. 13(11). P.1862–1869.

## Аналіз відновленого яблучного сока методом ядерного магнітного резонансу

**Алла Коваль, Марія Гребень, Тетяна Євтушенко, Таміла Адамчук**  
*Державне підприємство «Науковий центр превентивної токсикології, харчової та хімічної безпеки імені академіка Л.І.Медведя Міністерства охорони здоров'я України», м. Київ, Україна*

Яблучний сік є одним із популярних і поширених соків в Україні. Відповідно до Загального стандарту для фруктових соків та нектарів (CODEXSTAN 247-2005), прийнятого Комісією Кодекс Аліментаріус, відновлений сік – це сік, отриманий шляхом змішування концентрованого соку з питною водою.

**Мета дослідження.** Аналіз відновлених яблучних соків різних торговельних марок вітчизняного виробництва на відповідність правилам Європейської Асоціації Фруктових Соків (A.I.J.N) з використанням методу ядерного магнітного резонансу для ядер  $^1\text{H}$  (ЯМР).

**Матеріали і методи.** Метод ЯМР дозволяє одночасно проводити визначення сполук різних класів. Принцип цього методу ґрунтується на взаємодії електромагнітних хвиль з ядрами атомів, які знаходяться в магнітному полі. В Науковому центрі дослідження проводились на спектрометрі AVANCE – 400 (Bruker) при частоті 400 МГц, температурі 300 К у стандартних ЯМР-пробірках.

**Результати.** Дослідження методом ЯМР поділяється на 2 стадії: підготовка зразків та їх вимірювання. Стадія підготовки зразків включає додавання до зразку дейтерованої води  $\text{D}_2\text{O}$ , буферного розчину та внутрішнього стандарту – натрієвої солі триметилсилілпропіонової кислоти (TSP). Вимірювання та опрацювання експериментальних даних проводили за допомогою пакету програм Bruker (TopSpin, версія 4.0).

За результатами досліджень підтверджена натуральність відновлених соків та їх кількісний склад (Табл. 1). Отримані дані свідчать, що основним вуглеводом у зразках яблучного соку є фруктоза. Виявлено велику кількість різних органічних кислот, які важливі для організму людини та впливають на зниження ліпопротеїдів низької щільності холестерину у сироватці крові, сприяють пришвидшенню метаболізму, активізації імунітету, запобігають серцево-судинним захворюванням та хворобам Альцгеймера і Паркінсона.

Таблиця 1

Показник	Норматив (A.I.J.N.)	Зразок 1	Зразок 2	Зразок 3	Зразок 4	Зразок 5
Етанол, мг/л	≤3000	145	37	51	43	<10
Молочна кислота, мг/л	≤500	49	342	168	74	123

Титр.кислотність рН 8,1, мекв/л	35-117	75	83	73	55	72
Титр. Кислотність (рН 8,1, лимонна кислота), г/л	2,2-7,5	4,8	5,1	4,5	3,5	4,4
Формольне число	3,0-10,0	4,8	5,4	4,6	4,3	4,5
Лимонна кислота, г/л	≤0,1	<0,5	<0,5	<b>2,4</b>	<0,5	<b>2,6</b>
Яблучна кислота, г/л	≥3,0	5,6	5,9	3,4	4,2	3,3
Глюкоза, г/л	15,0-35,0	22,9	27,4	26,6	27,4	23,6
Фруктоза, г/л	45,0-85,0	58,7	57,3	60,5	58,6	57,7
Глюкоза/фруктоза	0,30-0,50	0,39	0,48	0,44	0,47	0,41
Сахароза, г/л	5,0-30,0	11,1	7,2	11,6	11,8	16,2
Аланін, мг/л	1-50	16	21	13	11	9
Хлорогенова кислота, мг/л	-	91	114	47	81	43
Цитрамалова кислота, мг/л	-	47	43	<10	43	<10
Галактуронова кислота, мг/л	-	1282	114	312	364	377
Хінна кислота, мг/л	-	668	845	341	410	314
Бурштинова кислота, мг/л	-	24	43	33	19	23
Ацетальдегід, мг/л	-	<5	<5	<5	<5	<5
Ацетоїн,мг/л	-	<10	<10	<10	<10	<10
Бензальдегід, мг/л	-	<5	<5	<5	<5	<5
Бензойна кислота, мг/л	-	<10	<10	<10	<10	<10
Сорбінова кислота, мг/л	-	<10	<10	<10	<10	<10

Виявлено, що досліджені зразки не містять штучних ароматизаторів та консервантів. Виключення становлять 2 зразки соків, в яких перевищено вміст лимонної кислоти, що наглядно ілюструє рис. 2.

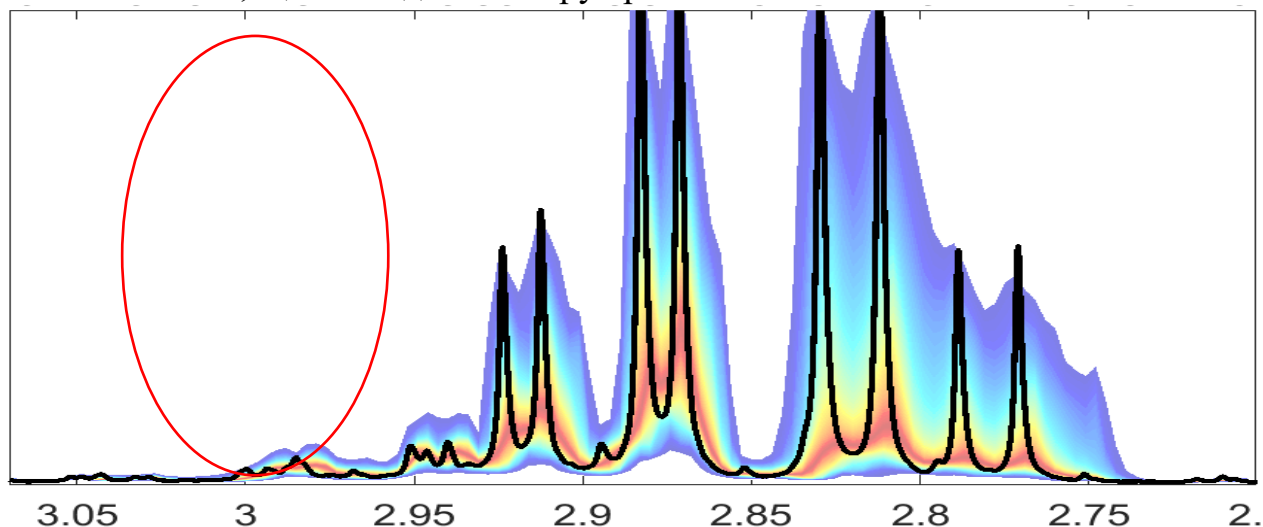


Рис 1. Зразок соку, з вмістом лимонної кислоти < 0,5 г/л

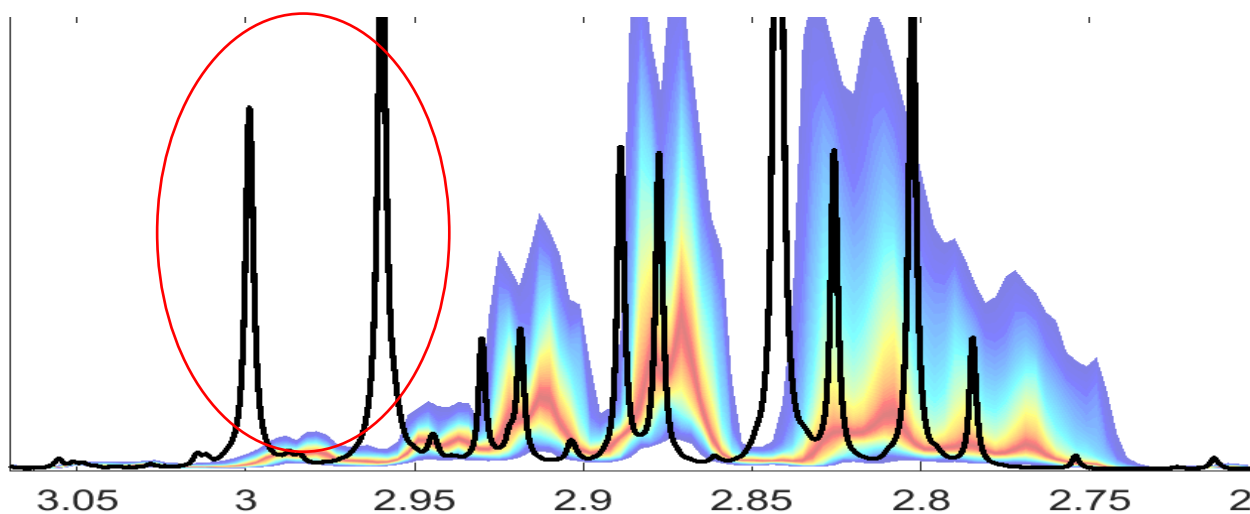


Рис 2. Зразок соку з перевищенням лимонної кислоти (2,6 г/л)

**Висновки.** ЯМР-аналіз відновлених яблучних соків вітчизняного виробництва показав, що спектр показників усіх досліджуваних зразків аналогічний і суттєві розбіжності у їх кількісному складі відсутні. Доведено, що метод ЯМР є перспективним скринінговим направленням для виявлення фальсифікації та підтвердження аутентичності продукції.

**Застосування електролізно-мембранних технологій для очищення  
слабоактивних радіоактивних вод**

**Сергій Гузій<sup>1</sup>, Віталіна Лук'янова<sup>1</sup>, Віктор Ніколенко<sup>1</sup>, Олександр Пугач<sup>1</sup>,  
Артем Вознищик<sup>1</sup>, Ірина Машкіна<sup>2</sup>, Тетяна Носенко<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>*Державна установа Інститут геохімії навколишнього середовища НАН*

*України, Київ, Україна*

<sup>2</sup>*Київський столичний університет ім. Б. Грінченка, Київ, Україна*

**Вступ.** Вода – один з найцінніших ресурсів на нашій планеті. Вона необхідна для підтримання життя не тільки людей, але й екосистем. Однак, зі збільшенням забруднення та зростанням попиту на воду, важливість ефективного очищення радіаційно забруднених вод неможливо переоцінити. На сьогодні актуальним завданням водо підготовки є вирішення проблем вилучення залишкових концентрацій радіоактивного <sup>137</sup>Cs із слабоактивних водних розчинів. Відомо багато методів вилучення іонів цезію, але як показує практика, найбільш дієвим є комбінація кількох методів для досягнення селективного вилучення <sup>137</sup>Cs. Самими розповсюдженими методами є: адсорбція, іонний обмін, хімічне осадження, хімічне відновлення, мембранні технології, коагуляція, екстракція, іонна флотація. Адсорбційні методи набули найбільшого розповсюдження в технологіях очищення рідких радіоактивних відходів завдяки широкому спектру адсорбентів [1-4]. Але ці методи розгалужені і не об'єднані в один технологічний цикл. Передовою технологією очищення радіоактивних в повному циклі є технологія Плазма-Сорб (розробка ДУ ІГНС НАНУ) [5] у якій, окрім вище наведених методів, використовується плазмо-хімія, плазмовий електроліз, тощо, а у фінальній частині ультра мембранне фільтрування. Контроль за черговістю проходження процесів виконує штучний інтелект. В даній роботі буде розглянуто електролізно-мембранний спосіб очищення води, як складовий чинник технології Плазма-Сорб.

**Матеріали і методи.** В роботі використали штучно приготовлену слабоактивну радіоактивну воду із ґрунту АЕС Фукусіми [2], папір індикаторний універсальний рН 0-12 та фільтрувальний «синя стрічка», колби конічні (V=2000мл), стакани хімічні термостійкі (V=2000мл), воронка фільтрувальна (D=150мм) і рН-метр (з електродом 9651-10D) HORIBA LAQUA-PH1500-SS. Очищення води проводили за допомогою електроактиватора «Ековод-3» [6], заміри активності води визначали на радіометрі FoodLight з програмним забезпеченням TeeChart pro v2012.06.120613 (розробка ДУ ІГНС НАНУ).

Перед безпосереднім вилученням іонів цезію з водних розчинів проводиться активація електроактиватора згідно Інструкції по використанню приладу.

**Результати.** Роботу виконували в наступному порядку, а саме: одночасно заповнювали ємкості електроактиватора. В першу, з нержавіючим електродом, вливали попередньо підготовлену водопровідну воду нижче на 2 см від верху

напівпроникної мембрани. В другу, з кремнієвим електродом, вливали радіоактивну воду. Процес активації триває 60-70 хв з підйомом температури до 80-85 °С. Після його закінчення та охолодження проб води, відповідно, Католіту та Аноліту, провели фільтрування з заміром активностей. Це перша активація. Другу та третю активацію проводили в тій же послідовності. Результати експерименту наведені в таблиці.

Таблиця – Сорбційна спроможність електролізно-мембранних технологій

№	Проби води	Активність, cps	% вилучення <sup>137</sup> Cs
1	Вихідна РВ	15,575	-
2	Фон	8,225	-
3	Католіт, перша активація	5,703	77
4	Аноліт, перша активація	0,04	100
5	Католіт, друга активація	4,664	63
6	Аноліт, друга активація	0	100
7	Католіт, третя активація	0	100
9	Аноліт, третя активація	0	100

**Висновок.** Із наведених даних видно, що після першої електролізно-мембранної очистки води, її активність зменшилася в 1,29 рази з вилученням до 77% іонів <sup>137</sup>Cs; після другої – в 1,59 рази з вилученням до 63% іонів <sup>137</sup>Cs; після третьої – повна очистка води та 100% вилучення іонів <sup>137</sup>Cs. Першої та другої стадії очищення РВ недостатньо (по вимогам ДСТУ 4808:2007) показники активності перевищують вимоги до 4 класу. Після третьої стадії електролізно-мембранної очистки отримуємо дані, що значно менші від вимог стандарту до 1-4 класів технічної води. Запропонована технологія є перспективною як складова технології ПЛАЗМА-СОРБ.

#### Перелік джерел

1. Гузій С.Г., Лук'янова В.В., Пугач О.В., Туцький Д.Г. Чиста вода. Фундаментальні, прикладні та промислові аспекти (9-10 листопада 2023 р., м. Київ): матер. VIII Міжнар. наук.-практ. конф. / Уклад. Жукова В., Колтишева Д. – 2023. – С. 68-70.

2. Guzii, S. et al. (2024). Magnetite-ferrocyanide-copper sorbents for recovery of cesium ions from low-activity liquid radioactive waters. *Material Sci & Eng.*, 8(1):15–18. [DOI: 10.15406/mseij.2024.08.00230](https://doi.org/10.15406/mseij.2024.08.00230).

3. Zabulonov, Yu. et al. (2024). New sorbents and their application for deactivation of liquid radioactive waste. *LWRT 2022, LNCE 469*, 126–136. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-55068-3\\_14](https://doi.org/10.1007/978-3-031-55068-3_14).

4. Guzii, S. et al. (2024). Removal of residual concentrations of cesium ions from low-level radioactive solutions. *Problems of Atomic Science and Technology*, 4(152), 84-93. <https://doi.org/10.46813/2024-152-000>.

5. Забулонов Ю.А., Гузій С.Г. Алгоритм очищення рідких радіоактивних відходів з використанням елементів технології ПЛАЗМА-СОРБ. XII Наукова

конференція «НАУКОВІ ПІДСУМКИ 2023 РОКУ». Збірка наукових праць. – Харків, Х.: ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ЦЕНТР, 2023.– С. 95.

6. Доступний електронний ресурс [http://ekovod.com/product\\_1.html](http://ekovod.com/product_1.html).

УДК 628.161.2:66.081.63

## **Вплив параметрів обробки на ефективність видалення фармацевтичних препаратів різної хімічної природи з води в процесі нанофільтрації**

**Людмила Мельник, Олена Хмельницька, Ольга Семінська,  
Маргарита Балакіна**

*Інститут колоїдної хімії та хімії води ім. А.В. Думанського НАН України,  
м. Київ, Україна*

**Вступ.** В останні десятиліття проблема видалення фармацевтичних препаратів із водних середовищ набула особливої гостроти, що обумовлено встановленими випадками їх детектування навіть у зразках питної води [1]. Виявлення слідів фармацевтично активних сполук (ФАС) у питній воді викликає глибоке занепокоєння, оскільки їх неконтрольоване споживання може становити серйозну загрозу здоров'ю людей і тварин через специфічні фізіологічні та біологічні ефекти [2, 3]. Хоча, як зазначається в [4], дискусії щодо впливу слідових кількостей ФАС у питній воді на здоров'я людини ще тривають, твердження про те, що кращим варіантом для людства є відсутність цих домішок у воді питного призначення, є загальновизнаним.

Вирішення окресленої вище проблеми вимагає розробки ефективних альтернативних технологічних схем підготовки питної води, а також створення та широкого впровадження технологій очистки стічних вод з метою уникнення потрапляння фармацевтичних препаратів у поверхневі води. Особливо перспективним у цьому плані є використання мембранних технологій, зокрема, нанофільтрації, яка має значну перевагу перед зворотньоосмотичною обробкою завдяки використанню менш високого робочого тиску.

Мета даної роботи полягала в дослідженні ефективності видалення фармацевтичних препаратів різної хімічної природи (диклофенак натрію, парацетамол, стрептоцид, саліцилова кислота) в процесі нанофільтрації в залежності від фізико-хімічних умов обробки.

**Матеріали та методи.** Дослідження здійснювали з використанням непроточної («тупикової») циліндричної комірки ємністю 200 см<sup>3</sup>. Концентрація фармацевтичних препаратів у модельних розчинах складала 5 мг/дм<sup>3</sup>, концентрація фонового електроліту (NaHCO<sub>3</sub>) – 3,5 ммоль/дм<sup>3</sup> (модель води р. Дніпро). В якості мембрани використовували мембрану поліамідного типу з відсіканням за молекулярною масою (MWCO) 300 (коефіцієнт затримання сахарози та глюкози, відповідно, 98,9 та 89,8 % (при ступеню відбору пермеату (СВП) – 25%).

Вміст фармацевтичних препаратів у початкових розчинах, пермеатах та концентратах визначали спектрофотометрично за максимумом поглинання в УФ області спектра. Спектри поглинання реєстрували за допомогою



спектрофотометра Schimadzu 2450. Довжина хвилі, при якій здійснювали розрахунки для кожного реагента, наведена у таблиці 1.

Коефіцієнт затримання (R, %) відповідного компонента мембраною розраховували за формулою:

$$R = \left(1 - \frac{C_{\text{перм}}}{C_0}\right) \cdot 100\%$$

де  $C_0$  – концентрація компонента в вихідному розчині;  $C_{\text{перм}}$  – концентрація компонента в пермеаті.

Таблиця 1. – Основні характеристики фармацевтичних препаратів, використаних у дослідженні

Назва	Молекулярна формула	Молекулярна маса, г/моль	pK <sub>a</sub>	λ, нм
Диклофенак натрію	C <sub>14</sub> H <sub>10</sub> Cl <sub>2</sub> NO <sub>2</sub> Na	318,13	4,15	275
Парацетамол	C <sub>8</sub> H <sub>9</sub> NO <sub>2</sub>	151,17	9,7	244
Сульфаніламід (Стрептоцид)	C <sub>6</sub> H <sub>8</sub> N <sub>2</sub> O <sub>2</sub> S	172,20	10,5	258
Саліцилова кислота	C <sub>7</sub> H <sub>6</sub> O <sub>3</sub>	138,12	2,97; 13,8	296

**Результати.** Як видно із таблиці 2, ефективність видалення різних фармацевтичних препаратів нанофільтраційною мембраною суттєво відрізняється.

Таблиця 2. – Коефіцієнт затримання фармацевтичних препаратів нанофільтраційною мембраною в залежності від ступеню відбору пермеату

СВП, %	R, %							
	Диклофенак натрію, мг/дм <sup>3</sup> (рН = 8,8)	Парацетамол, мг/дм <sup>3</sup>			Стрептоцид, мг/дм <sup>3</sup>			Саліцилова кислота (рН = 8,8)
		рН			рН			
		3,9	8,8	11,3	3,8	8,8	11,1	
25	100	28,5	22,6	74,9	19,8	18,8	22,6	70,0
50	98,1	18,2	16,5	73,2	11,4	11,9	15,5	71,7
75	98,1	13,6	13,0	65,8	8,0	9,4	10,3	67,2

Примітка: P=1,0 МПа, T=20-22°C.

В той час, як при ступеню відбору пермеату 75 % коефіцієнт затримання диклофенаку натрію нанофільтраційною мембраною досягає 98,1 %, саліцилової кислоти – 67,2 %, аналогічний показник для парацетамолу та стрептоциду (без корегування рН розчину) складає, відповідно, 13,0 та 9,4 %. Співставлення одержаних результатів із інформацією, наведеною у таблиці 1, свідчить про суттєвий вплив електростатичного фактора на ефективність видалення органічних забруднювачів нанофільтраційною мембраною. Додатковим підтвердженням цього є також суттєвий вплив рН на процес у

випадку обробки розчинів парацетамолу та стрептоциду (таблиця 2, рисунок 1). Так, зокрема, підвищення рН модельного розчину парацетамолу до 11,3 призводить до збільшення коефіцієнту його затримання в процесі нанофільтрації з 13,0 до 65,8 %, що обумовлено переходом ФАС у дисоційовану форму.

Нами встановлено також, що підвищення робочого тиску від 0,5 до 1,5 МПа призводить до збільшення коефіцієнту затримання диклофенаку натрію при нанофільтраційній обробці від 96,3 до 100 %, а саліцилової кислоти – від 66,7 до 79,8 %, що обумовлено зменшенням впливу внутрішньо-дифузійної кінетики на процес. Підвищення температури до 27–29 °С не мало впливу на коефіцієнт затримання диклофенаку натрію дослідженою нанофільтраційною мембраною.

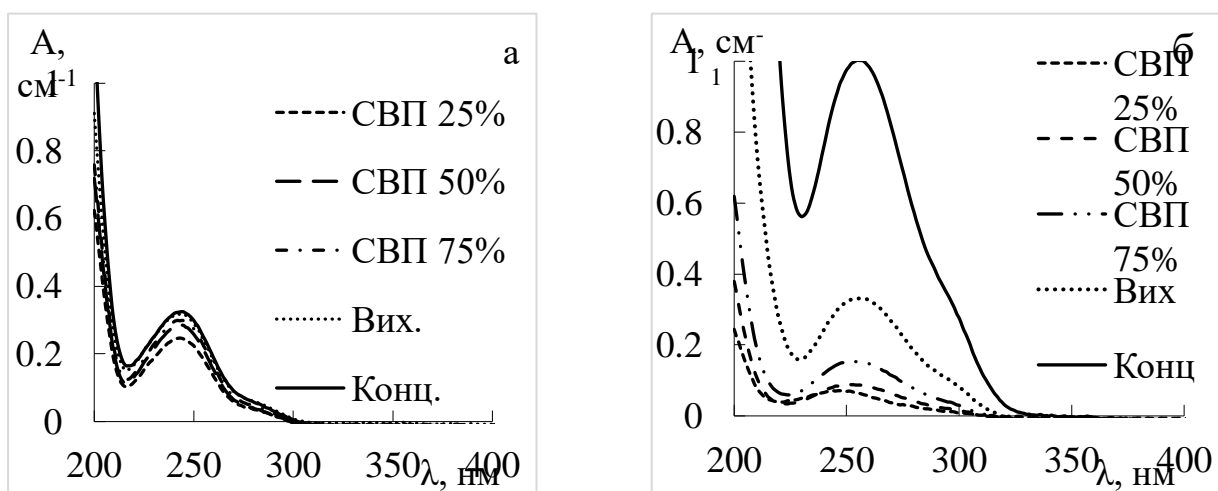


Рисунок. 1. УФ-спектри поглинання вихідного розчину парацетамолу ( $C_{\text{вих}} = 5 \text{ мг/дм}^3$ ), одержаних пермеатів та концентрату в процесі нанофільтраційної обробки при рН 8,8 (а) та 11,3 (б).  $P=1,0 \text{ МПа}$ .  $T=20\text{-}22^\circ\text{C}$ .

**Висновок.** Одержані результати свідчать про суттєвий вплив хімічної природи фармацевтичних препаратів, а також фізико-хімічних умов нанофільтраційної обробки на ефективність видалення вказаних органічних мікротоксикантів з водних розчинів, що слід враховувати при розробці технологічних схем підготовки питної води та очищення стічних вод. Коефіцієнти затримання не дисоційованих у водному розчині фармацевтичних сполук з низькою молекулярною масою (парацетамол, стрептоцид) в процесі нанофільтрації є досить низькими, що вимагає комбінування мембранної обробки з іншими процесами, зокрема УФ/ $\text{TiO}_2$ -обробкою, для досягнення необхідного ступеню видалення забруднювачів.

#### Перелік джерел інформації

1. Liu T., Aniaigor C.O., Ejimofor M.I., Tang K.H.D., Chin B.L.F., Chan Y.H., Yin C.L. et al. Technologies for removing pharmaceuticals and personal care products (PPCPs) from aqueous solutions: Recent advances, performances, challenges and

recommendations for improvements. *Journal of Molecular Liquids*. 2023.V. 374. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2022.121144>.

2. Zhao Y.Y., Kong F.-X.; Wang Z., Yang H.-W.; Wang X. -M., Xie Y. F.; Waite T. D. Role of membrane and compound properties in affecting the rejection of pharmaceuticals by different RO/NF membranes. *Frontiers of Environmental Science & Engineering*. 2017. 11(6): 20. doi:10.1007/s11783-017-0975-x.

3. Chander V., Sharma B., Negi V., Aswal R. S., Singh P., Singh R., Dobhal R. Pharmaceutical compounds in drinking water. *Journal of Xenobiotics*. (2016). V.6(1). doi:10.4081/xeno.2016.5774

4. Simon E., Duffek A., Stahl C., Frey M., Scheurer M., Tuerk J., Gehrman L., Könemann S., Swart K., Behnisch P., [et.al]. Biological effect and chemical monitoring of Watch List substances in European surface waters: Steroidal estrogens and diclofenac – Effect-based methods for monitoring frameworks. *Environment International* 2022. V. 159. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2021.107033>.

УДК 628.16[66.081.63+628.345]

### **Очищення води р. Дніпро методом ультрафільтрації**

**Ольга Семінська, Маргарита Балакіна, Людмила Мельник,  
Олена Хмельницька**

*Інститут колоїдної хімії та хімії води ім. А.В. Думанського НАН України,  
Київ, Україна*

**Вступ.** Особливістю складу дніпровської води є підвищений вміст природних органічних сполук (ПОС), переважним компонентом яких є сполуки гумусової природи. Це створює серйозну проблему, оскільки при знезараженні такої води хлоровмісними сполуками утворюються хлорорганічні похідні, що мають токсичну, мутагенну та канцерогенну дію. Таким чином, глибоке видалення ПОС із дніпровської води до стадії постхлорування є надзвичайно актуальним завданням, вирішення якого дозволить одержувати питну воду високої якості.

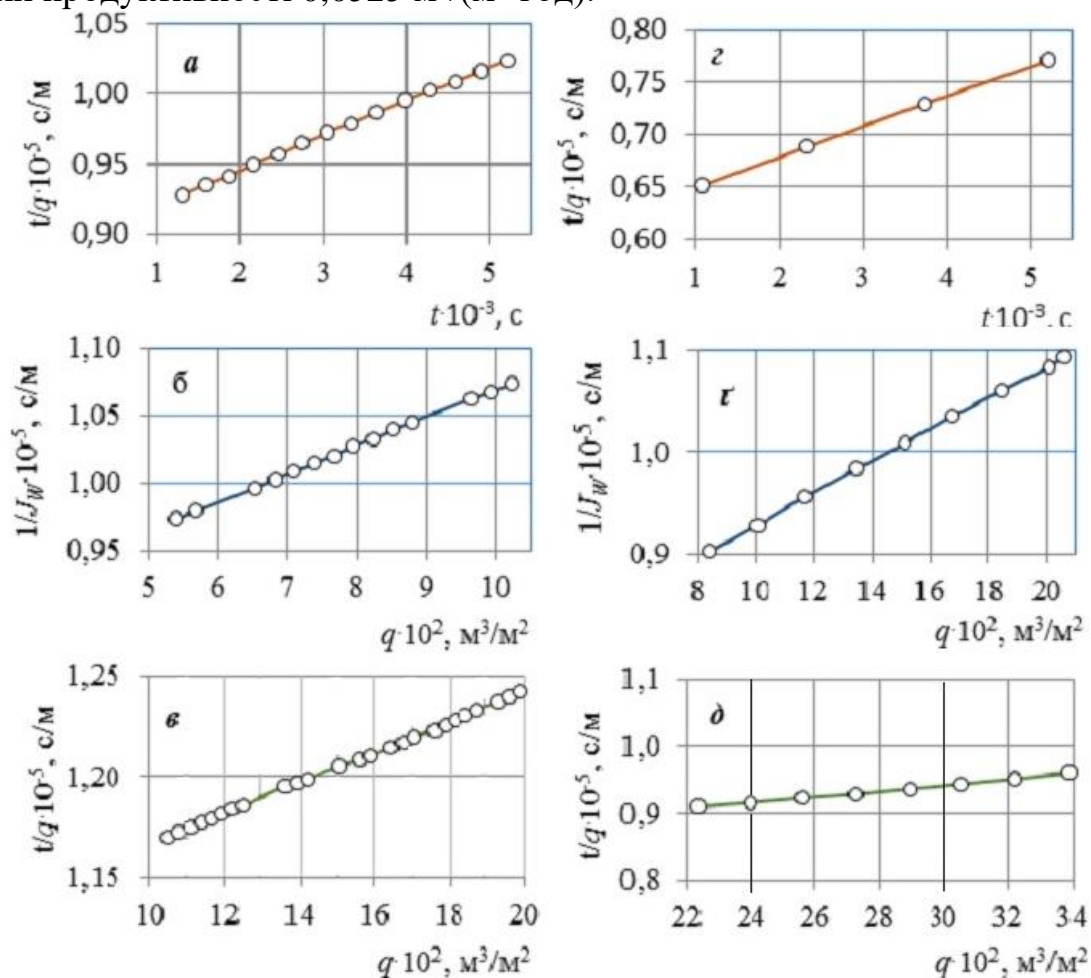
У роботі [1] було досліджено ефективність ультрафільтраційного (УФ) та нанофільтраційного (НФ) видалення ПОС з дніпровської води. Було показано, що використання УФ мембран з відсіканням за молекулярною масою (MWCO) 20000 Да не дозволяє досягти допустимого вмісту загального органічного вуглецю (ЗОВ) для води централізованого водопостачання ( $\leq 8 \text{ мг С/дм}^3$ ), тоді як використання нанофільтраційної мембрани дало можливість отримати пермеат із вмістом ЗОВ 1,1–1,7 мгС/дм<sup>3</sup> (при ступеню відбору пермеату до 90 %). Однак, в останньому випадку очищена вода містила лише 23,0 мг/дм<sup>3</sup> іонів кальцію та 3,0 мг/дм<sup>3</sup> іонів магнію при фізіологічно обґрунтованій їх нормі у питній воді, відповідно, 25–75 і 10–50 мг/дм<sup>3</sup>, що вимагає ремінералізації пермеату.

У запропонованих тезах наводяться результати дослідження ефективності УФ очищення дніпровської води мембраною з MWCO 10000 Да.

**Матеріали і методи.** Експерименти здійснювали в проточній комірці під тиском 0,4 МПа з використанням мембрани UPO10 (MICRODYN-NADIRGmbH, Germany). Проби води було відібрано в районі Оболонської набережної (м.Київ) у липні-вересні 2024 року. В окремих експериментах перед УФ обробкою до води додавали коагулянт  $Al_2(SO_4)_3$  (7,5 мг/дм<sup>3</sup>). Механізм ультрафільтрації визначали із залученням уявлень, розроблених на основі аналізу рівнянь Дарсі та Хагена-Пуазейля для фільтрування при постійному тиску [2].

Вміст розчиненого органічного вуглецю у воді контролювали вимірюванням параметрів ЗОВ із використанням аналізатора ShimadzuTOC-V<sub>CSN</sub> (Японія). При визначенні  $UV_{254}$ ,  $UV_{364}$  і SUVA реєстрували спектри поглинання за допомогою спектрофотометра SchimadzuUV-2450. Значення SUVA розраховували за формулою  $SUVA=(UV_{254}\cdot 100)/ЗОВ$ . За сучасними уявленнями, зменшення показника SUVA свідчить про зниження потенційної можливості утворення вторинних продуктів хлорування при підготовці питної води [3].

**Результати.** Аналіз перебігу процесу показав, що при УФ обробці дніпровської води в перші 1,54год спостерігалась стадія закупорювання пор мембрани (рис.1,*а*), яку надалі змінила перехідна стадія (рис.1,*б*). Через 3,41год фільтрування відбувалось з відкладенням осаду на поверхні мембрани (рис. 1, *в*) при питомій продуктивності мембрани ( $J_w$ )  $\approx 0,0305$  м<sup>3</sup>/(м<sup>2</sup>·год) при вихідній питомій продуктивності 0,0525 м<sup>3</sup>/(м<sup>2</sup>·год).



**Рисунок 1. Ультрафільтраційне фільтрування дніпровської води: а – стадія закупорювання пор мембрани, б – перехідна стадія, в – стадія відкладення осаду на поверхні мембрани; дніпровської води, до якої введений алюмінієвий коагулянт, концентрація якого дорівнювала 7,5 мг/дм<sup>3</sup>: з – стадія закупорювання пор мембрани, г– перехідна стадія, д – стадія відкладення осаду на поверхні мембрани**

Під час УФ обробки дніпровської води з додаванням коагулянту екранування поверхні мембрани гідроксосолюками алюмінію частково заважало завислим речовинам потрапляти в пори, і стадія закупорювання останніх тривала довше – 1,86год (рис.1,з). Перехідна стадія продовжувалась до 5,69 год (рис. 1, г), після чого перебіг фільтрування здійснювався з відкладенням осаду на поверхні мембрани (рис.1,д). При вихідній  $J_w \approx 0,056 \text{ м}^3 / (\text{м}^2 \cdot \text{год})$  питома продуктивність становила  $\sim 0,032 \text{ м}^3 / (\text{м}^2 \cdot \text{год})$ .

Результати ультрафільтраційної обробки дніпровської води наведені в таблицях 1 і 2.

**Таблиця 1. – Зміна вмісту ПОС у пермеаті при УФ обробці дніпровської води**

Тривалість УФ, год	0	0,23	0,95	1,82	2,89	3,82	4,83	5,60
Ступінь вилучення ПОС за $\lambda_{254}$ нм, %		57,8	60,1	63,5	64,4	64,8	65,3	66,6
Ступінь вилучення ПОС за $\lambda_{364}$ нм, %		64,1	65,4	66,7	67,9	67,9	69,2	70,5
ЗОВ, мгС/дм <sup>3</sup>	15,9	8,69	7,32		7,32		6,80	6,43
SUVA, дм <sup>3</sup> /(м·мг)	3,56	2,95	2,86		2,84		2,75	2,69

**Таблиця 2. – Зміна вмісту ПОС у пермеаті при УФ обробці дніпровської води з додаванням алюмінієвого коагулянту**

Тривалість УФ, год	0	0,51	1,53	2,18	2,91	3,70	4,83	4,49
Ступінь вилучення ПОС за $\lambda_{254}$ нм, %		53,9	58,6	60,8	61,3	64,0	66,4	66,8
Ступінь вилучення ПОС за $\lambda_{364}$ нм, %		57,6	61,9	73,9	75,0	76,1	79,3	80,4
ЗОВ, мгС/дм <sup>3</sup>	20,15			7,25	7,3	8,0		8,4
SUVA, дм <sup>3</sup> /(м·мг)	3,15				2,9		2,96	

**Висновки.** Отримані результати свідчать про перспективність використання ультрафільтраційної мембрани UPO10 з MWCO 10000 Да для очищення води р. Дніпро від природних органічних сполук. При цьому вміст іонів кальцію та магнію в одержаному пермеаті відповідає фізіологічно обґрунтованій нормі цих компонентів у питній воді. Пластівці гідроксосолюк, які утворились при додаванні в дніпровську воду алюмінієвого коагулянту, екранують пори мембрани; покращуючи очищення води від високомолекулярних органічних сполук (ступінь вилучення ПОС за  $\lambda_{364}$  нм).

Крім того, в присутності коагулянту на  $\sim 5\%$  підвищується питома продуктивність мембрани.

**Перелік джерел інформації.**

1. Balakina M.M. Capabilities of Ultra- and Nano filtration in the Purification of Dnieper Water from Natural Organic Compounds / M.M. Balakina, O.O. Seminska, S.V. Remez et al. *Journal of Water Chemistry and Technology*. 2021. V. 43, № 4. P. 342-347.

2. Брык М.Т., Цапюк Е.А. Ультрафилтрация. Киев: Наук. Думка, 1989. 288 с.

3. Hua G., Reckhow D.A., Abusallout I. Correlation between SUVA and DBP formation during chlorination and chloramination of NOM fraction from different sources. *Chemosphere*. 2015. V. 130. P. 82-89.

## **СЕКЦІЯ 6**

**БУТИЛЬОВАНІ ВОДИ: НОВІ ВИДИ  
ПРОДУКЦІЇ, ТЕХНОЛОГІЇ, ЯКІСТЬ,  
БЕЗПЕЧНІСТЬ, ФІЗІОЛОГІЧНА  
ПОВНОЦІННІСТЬ**

## Регулювання якості бутильованої питної води в Україні

Ліза Личкун, Дарія Дунда, Тетяна Чорна  
*Державний податковий університет, Ірпінь, Україна*

**Вступ.** Бутильована вода поступово перетворюється на товар першої необхідності – споживачі обирають її не лише для пиття, а й для приготування їжі. Так, наприклад, якщо у 2011 році лише 30% покупців використовували таку воду для приготування їжі, то у 2021 їх частка зросла до 70% [5]. Після суттєвого скорочення внаслідок початку російського повномасштабного вторгнення, український ринок бутильованої води у 2023 році почав відновлення – у 2023 році обсяг ринку становив 1,9 мільярда літрів.

**Матеріали і методи.** В процесі дослідження використано загальнонаукові методи – збір інформації, її аналітичне опрацювання та теоретичне узагальнення; та статистичні методи. Інформаційною базою стали наукова і спеціальна література, відповідні законодавчі акти, а також міжнародні та національні нормативні документи, а монографії та статті вітчизняних і зарубіжних авторів, матеріали періодичних видань та ін.

**Результати.** Міжнародна асоціація бутильованої води (IBWA) визначає бутильовану воду як таку, яка «відповідає державним стандартам та гігієнічним вимогам до питної води, а також вміщена в гігієнічний контейнер і продається для придбання людиною. При цьому вона не повинна містити підсолоджувачів чи добавок штучного походження. Ароматизатори, екстракти та есенції природного походження можуть додаватися в кількості, що не перевищує одного вагового відсотка. Якщо ж вода містить більший відсоток, то вона належить до безалкогольних напоїв» [3].

Зростання попиту споживачів на бутильовану питну воду вимагає суворого контролю її якості. Це пов'язано з низкою вагомих причин: 1) турбота про здоров'я населення, оскільки споживання низькоякісної або забрудненої води може призвести до виникнення гострих або хронічних захворювань, алергічних реакцій та ін.; 2) попередження появи на ринку підробок – у разі відсутності належного контролю на ринок можуть потрапити підробки відомих брендів, що не відповідають санітарним нормам і створюють загрозу здоров'ю споживачів; 3) збереження природних ресурсів – деякі виробники можуть нехтувати належним очищенням або навіть забирати воду з неперевіраних джерел. Контроль якості бутильованої води стимулює виробників відповідально підходити до використання водних ресурсів; 4) відповідність стандартам та очікуванням споживачів – вода повинна відповідати встановленим державним та міжнародним стандартам, щоб українці могли довіряти продукту, який споживають щодня. Високий рівень контролю сприяє покращенню репутації виробників і зростанню довіри з боку споживачів; 5) екологічна ситуація – якість бутильованої води також пов'язана з контролем пакування, що є частиною загального впливу на довкілля. Контроль якості може включати регулювання використання матеріалів, придатних для вторинної переробки, що зменшує негативний вплив на довкілля.



В Україні якість бутильованої води регулюється декількома ключовими документами, серед яких Державні санітарні норми та правила (ДСанПіН), Закони України «Про забезпечення санітарного та епідемічного благополуччя населення», «Про питну воду, питне водопостачання та водовідведення», «Про основні принципи та вимоги до безпечності та якості харчових продуктів», Технічний регламент щодо правил маркування харчової продукції, а також європейські стандарти. У комплексі зазначені документи та стандарти регулюють вимоги до бутильованої води в Україні, забезпечуючи безпечність та відповідність продукції. Вимоги для виробників питної води встановлюються у нормативно-технічному документі виробництва. Такими документами можуть бути або Державні стандарти, або розроблені підприємством Технічні умови [4].

Державні санітарні норми та правила «Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною» (ДСанПіН 2.2.4-171-10) – основний документ, що встановлює вимоги до якості води для питного використання, включаючи й бутильовану. Він визначає хімічні, мікробіологічні, радіологічні показники, які мають відповідати безпечним для здоров'я нормам. Питна вода, призначена для споживання людиною, повинна бути безпечною в епідемічному та радіаційному відношенні, мати сприятливі органолептичні властивості та нешкідливий хімічний склад.

Закон «Про забезпечення санітарного та епідемічного благополуччя населення» регулює питання санітарної та епідеміологічної безпеки, включаючи контроль за якістю води, що реалізується, та вимоги до виробників щодо санітарних норм. Закон «Про питну воду, питне водопостачання та водовідведення» визначає загальні вимоги до якості води, джерел водопостачання та умов виробництва питної води, що забезпечують її безпечність та відповідність стандартам. Відповідно до Закону «Про якість та безпеку харчових продуктів», кожне підприємство харчової промисловості, в тому числі і виробництва бутильованої води, повинно впровадити у себе на виробництві систему НАССР, яка забезпечує контроль продукції на всіх етапах її виробництва, починаючи від контролю вихідних матеріалів, обробки, упаковки, зберігання і закінчуючи контролем реалізації готової продукції.

Технічний регламент щодо правил маркування харчової продукції включає положення про маркування (етикетування) розфасованих продуктів харчування (в тому числі, питної бутильованої води), що реалізуються кінцевому споживачу через оптову або роздрібну торговельну мережу, а також закладам ресторанного господарства (ресторанам, їдальням, лікарням та іншим аналогічним закладам).

Вимогою багатьох країн світу для захисту здоров'я споживача є сертифікація продукції, що виробляється. В Україні сертифікація води є добровільною процедурою, що демонструє споживачам відповідність продукції законодавчо встановленим вимогам. Сертифікація води передбачає дослідження зразків продукції на відповідність вимогам, які б регламентували безпеку її споживання (органолептичних, фізико-хімічних та санітарно-епідеміологічних показників). Результатом проведеної процедури є сертифікат

відповідності, виданий акредитованим органом України на підставі протоколів випробувань лабораторії, що здійснила відповідні дослідження.

Загалом, при виборі постачальника фасованої води варто обов'язково звертати увагу на впровадження на виробництві системи НАССР [2]. Етикетка на продукті також може сказати багато про що як про виробника, так і про сам продукт: вид і походження води, розташування свердловин або джерел, адреса і контакти потужностей виробництва, основні хімічні показники, умови і терміни зберігання [1]. Крім усього вищевказаного більшість виробників також надають основні документи на свою продукцію – висновки на воду, сертифікати відповідності, висновки на бутлі, пробки та інше (пакет документів, який підтверджує якість продукції).

Щодо маркування питної води, то етикетці обов'язково має бути зазначена наступна інформація: «Вода питна», її назва, вид (оброблена, необроблена (природна), штучно-мінералізована, штучно-фторована, штучно-йодована, з оптимальним вмістом мінеральних речовин, газована (сильно-, середньо-, слабо- чи негазована тощо); склад («вода питна» та перелік уведених речовин, зокрема консервантів, макро- та мікроелементів); фактичні значення показників фізіологічної повноцінності мінерального складу питної води згідно з додатком 4 до ДСанПіН 2.2.4-171-10; умови зберігання; об'єм тари; дата виготовлення та дата закінчення строку придатності до споживання; найменування, місцезнаходження та телефони виробника; місце виготовлення води; вид вихідної води, місцезнаходження підземного джерела питного водопостачання та номер і глибина свердловини; номер партії виробництва; назва нормативного документа, який визначає вимоги щодо якості питної води.

**Висновки.** Суворий контроль якості бутильованої води є запорукою забезпечення здоров'я нації та збереження довкілля. В Україні на законодавчому рівні контроль якості бутильованої води здійснюється на підставі Державних санітарних норм, а також відповідних європейських стандартів, які наша держава впроваджує в рамках євроінтеграції. Держпродспоживслужба України є головним органом, який проводить та контролює перевірку якості води на ринку, здійснюючи регулярний моніторинг підприємств і продукції.

#### **Перелік джерел інформації**

1. Clean Energy. Якість бутильованої води – Обираємо найкраще. URL: <http://surl.li/rwuidc> (дата звернення: 24.10.2024).
2. Еталон-Україна. Якість бутильованої води: Європейські стандарти вже в Україні. URL: <http://surl.li/dfvaie> (дата звернення: 25.10.2024).
3. Міжнародна асоціація бутильованої води. Офіційний сайт. URL: <https://bottledwater.org/> (дата звернення: 24.10.2024).
4. Про затвердження Державних санітарних норм та правил «Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною» (ДСанПіН 2.2.4-171-10): наказ МОЗ України від 12.05.2010 р. № 400. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0452-10#Text> (дата звернення: 25.10.2024).

Штука Н. За десять років частка українців, які купують питну воду виросла в 3,5 рази. Як зростає цей бізнес. URL: <http://surl.li/exuzxg> (дата звернення: 23.10.2024).

## **Розробка технології напоїв на основі кремнійвмісних мінеральних вод**

**Олена Коваленко, Роман Березецький**

*Одеський національний технологічний Університет, Одеса, Україна*

Сьогодні споживачі все більше віддають перевагу харчовим продуктам і напоям, які не лише задовольняють щоденну потребу організму в поживних речовинах, а і чинять певний лікувально-профілактичний ефект. Тому в сегменті напоїв зростає попит на низькокалорійні напої, традиційні чи ароматизовані природні мінеральні води, мінеральні води і напої з підвищеним вмістом кремнію та інші.

Кремній – другий за поширеністю хімічний елемент земної поверхні. В складі кремнезему ( $\text{SiO}_2$ ), силікатів та алюмосилікатів він присутній в мінералах і гірських породах. Внаслідок контакту кремнезему з водою в ній з'являються кремнієві кислоти, гідратовані силікагелі, колоїдні дисперсії кремнезему, різні гідрати. Також у воді присутні силікат-іони як продукти гідролізу силікатів натрію чи калію. Межа розчинності кремнезему у воді при  $25\text{ }^\circ\text{C}$  –  $120\text{ мг/дм}^3$ . Живі організми засвоюють кремній у формі розчинних сполук кремнезему [1, 2].

Механізм утворення розчинної у воді ортокремнієвої кислоти  $\text{Si}(\text{OH})_4$  (мономера) пояснюють руйнацією при гідролізі кремнезему зв'язків Si - O- Si та утворенням кінцевих груп Si – OH. Розчинна у воді метакремнієва кислота (димер) утворюється внаслідок полімерізації ортокремнієвої кислоти. Орто- і метакремнієва кислоти в молекулярному і дисоційованому стані складають основу розчинної фракції присутніх у воді кремнієвих кислот. Ці кислоти є слабкими і вони дисоціюють з утворенням силікат-іонів ( $\text{HSiO}_3^-$ ,  $\text{Si}_2\text{O}_5^{2-}$ ,  $\text{SiO}_3^{2-}$  та ін). Полімерізація за певних умов мономера і димера призводить до утворення у воді кремнієвих кислот в колоїдній формі. Таким чином, у воді кремнієві кислоти знаходяться в розчинній і в колоїдній формі [1, 2].

Хоча в рідинах і тканинах людського організму розчинні форми кремнію присутні в слідових концентраціях, систематична його нестача стає причиною розвитку захворювань, пов'язаних із втратою сполучної тканини, зниженням міцності і щільності кісток, погіршенням цілісності і міцності нігтів, шкіри та волосся. Також нестача кремнію в організмі уповільнює синтез колагену, процеси розвитку і регенерації кісткової тканини, негативно впливає на імунну систему. З віком у людей вміст кремнію в організмі змінюється. Зниження його вмісту виявлено при онкологічних та серцево-судинних захворюваннях, при зниженні гормональної активності, а також при захворюваннях, пов'язаних з порушенням обміну речовин, при хворобі Альцгеймера тощо. Механізми, які пояснюють ці взаємозв'язки, до кінця ще не вивчені. Але вчені вважають, що їх встановлення дозволить ефективніше здійснювати профілактику таких захворювань, в тому числі і через коректування раціону харчування людини. Найбільше кремнію людина засвоює, споживаючи харчові продукти, вироблені

із зерна та рису. Також добре засвоюються цей біологічно активний компонент із води, зокрема з природної мінеральної [1, 3].

Україна має чимало родовищ мінеральних вод. Серед них є і такі, що містять розчинні кремнієві кислоти в концентрації вище 50 мг/дм<sup>3</sup>. Їх відносять до лікувальних мінеральних вод, тому для щоденних питних потреб чи виробництва напоїв їх не використовують. А ось мінеральні води з меншим вмістом розчинних кремнієвих кислот можуть слугувати сировиною для виробництва напоїв з додатковими корисними властивостями.

Особливістю виробництва напоїв на основі мінеральних вод, що містять розчинні сполуки кремнію, є їх збереження в під час технологічного оброблення. Необхідно так провести всі технологічні операції, щоб в готовому продукті зберіглися кремнієві кислоти в розчиненому, а не полімеризованому стані. Особливо важливо зберегти якнайбільше в незмінному стані ортокремнієву кислоту. Адже серед розчинених у воді кремнієвих кислот лише вона є біодоступною для живого організму. Саме в такій формі кремній виявлено в крові і сечі людини.

Відомо, що співвідношення між розчинною і колоїдною формами кремнієвих кислот, а також вмістом у воді силікат-іонів залежить від рН, температури, іонного складу води. Наприклад, з підвищенням рН зростає частка іонізованих форм кремнієвої кислоти. Відповідно змінюється тип хімічних реакцій, в які можуть вступати розчинені у воді сполуки кремнію. Додавання при виробництві напоїв до води ще інших компонентів також може вплинути на вміст кремнієвих кислот, співвідношення між їх розчинною і колоїдною формами. Тому при розробці технології виробництва напоїв на основі кремнієвих мінеральних вод важливо вирішити низку завдань, спрямованих на отримання як смачного, так і корисного продукту з максимальним вмістом розчиненої кремнієвої кислоти в біодоступній формі.

На першому етапі наукової роботи було виконано дослідження вмісту кремнієвих кислот в розчиненій і колоїдній формах в природних мінеральних водах. На другому етапі дослідження визначали вплив іонного складу природної мінеральної води на вміст в ній кремнієвих кислот і співвідношення її форм.

Для дослідження були використані фасовані в ПЕТ-тару природні мінеральні та столові води від вітчизняних виробників («Трускавецька», «Деревінська купіль», «Моршинська», «Миргородська», «Кривоозерська», «Куяльник», «Шаянська») [5,6]. З використанням сучасних методів, приладів і обладнання були визначені у воді концентрації катіонів кальцію, магнію, натрію і калію, солевміст води, а також концентрація у воді кремнієвих кислот в розчиненій і колоїдній формах. Зокрема, для визначення вмісту у воді розчинних кремнієвих кислот застосували фотометричний метод. Методика визначення базувалася на їх здатності в кислому середовищі реагувати з молібденовокислим амонієм та утворювати комплексну кремнемолібденову гетерополікислоту, забарвлену в жовтий колір [4].

На основі експериментальних даних визначено, що солевміст у взятих для дослідження зразках води знаходився в межах від 100 до 5000 мг/дм<sup>3</sup>.

Концентрації катіонів в зразках води були в межах: кальцій – від 5,0 до 180 мг/дм<sup>3</sup>, магній – від 15 до 100 мг/дм<sup>3</sup>, сумарний вміст натрію і калію – від 5,0 до 1300 мг/дм<sup>3</sup>. Сумарний вміст кремнієвих кислот (в розчинній і колоїдній формах) в зразках води, взятих для аналізу, знаходився в межах від 13,67 мг/дм<sup>3</sup> до 73,78 мг/дм<sup>3</sup>. А співвідношення між розчиненою і колоїдною фракціями кремнієвих кислот у зразках води було в межах від 2,3:1 до 15,5:1.3

Аналіз та узагальнення отриманих результатів дозволили сформулювати наступні закономірності:

– для переважної більшості (а це більше 85 %) взятих для аналізу зразків природних мінеральних вод із зростанням солевмісту води загальний вміст кремнієвих кислот зменшувався;

– при сумарній концентрації катіонів натрію і калію вище 200 мг/л та при вмісті катіонів магнію і кальцію до 100 мг/л (кожного катіону) загальний вміст кремнієвих кислот у воді був в 1,5 – 2,3 рази меншим, ніж в зразках води, в яких сумарний вміст катіонів натрію і калію був нижчим 200 мг/л при аналогічному з першим випадком вмісті катіонів кальцію і магнію;

– частка кремнієвих кислот в колоїдній формі була вищою в зразках води, де сумарний вміст натрію і калію становив більше 200 мг/л.

Надалі планується виконання досліджень, спрямованих на визначення впливу способів і режимів оброблення мінеральної води, а також виду і концентрації інших речовин в складі рецептурних компонентів напоїв на зміну вмісту розчинних кремнієвих кислот у готовому продукті. Отримані залежності дозволять розробити технологічну схему виробництва напоїв з підвищеним вмістом кремнію.

#### **Перелік джерел інформації**

1. Martin, Keith. (2013). Silicon: The Health Benefits of a Metalloid. *Metal ions in life sciences*. 13. 451-73. 10.1007/978-94-007-7500-8\_14.

2. Pler R.K. *The Chemistry of Silica Solubility, Polymerization, Colloid and Surface Properties, and Biochemistry*. New York, 1979.

3. Мокієнко А.В. До питання про доцільність нормування кремнію у питній воді. *Вода: гігієна та екологія*. №1 - 4, т.5, 2017. С. 9 – 17.

4. Нікіпелова О.М., Філіпенко Т.Г., Солодова Л.Б. *Посібник з методів контролю природних мінеральних вод, штучно-мінералізованих вод та напоїв на їх основі /МОЗ України. Укр.наук.-досл. ін-т медичної реабілітації та курортології*. - Одеса, 2002. - Ч.1. Фізико-хімічні дослідження. 96 с.

5. Коваленко, О., Березецький, Р. Дослідження вмісту кремнієвої кислоти у фасованих природних мінеральних водах. Ресурси природних вод карпатського регіону / Проблеми охорони та раціонального використання. Матеріали Двадцять другої Міжнародної науково-практичної конференції (м. Львів, 23–24 травня, 2024 р.): збірник наукових статей – Львів: Національний університет «Львівська політехніка», 2024. С.163 – 165.

6. Коваленко О.О., Березецький Р.В. Про кремній у воді, його користь і шкоду для здоров'я людини. Зб. тез доп. 83 наук. конф. виклад. університету. МОН України. – Одеса: ОНТУ. – 2023. – С.68 – 70.

**Сенсорний аналіз мінеральних вод як інновація маркетингу  
фасованих мінеральних вод**

**Тетяна Стрікаленко**

*Одеський національний технологічний університет, Одеса, Україна*

Опитування, які щороку проводять Міжнародна дослідницька компанія IPSOS Group та Інститут соціальних досліджень і статистичного аналізу FORSA Institute (Німеччина), дозволяють стверджувати, що для 64% покупців смак фасованої натуральної мінеральної води (ФМВ) є ключовим моментом придбання та продажів. Проте, вони ж констатують, що комерційна диференціація ФМВ ще є рідкісним явищем, а виробники ФМВ на етикетці зазвичай посилаються на географічне походження та/або історичні принади мінеральної води. Однак і виробники, і споживачі мінеральної води добре знають, що важливими для оцінки мінеральної води мають бути не лише декілька слів та цифр про мінеральні складові води, але й інформація про поживно-фізіологічну цінність, смак та особливості взаємодії відповідних сенсорних характеристик з певними стравами, вином, кавою, іншими напоями тощо. Адже саме відмінності в якісному мінеральному складі та відповідні смакові враження відкривають безліч привабливих можливостей для позиціонування ФМВ та маркетингу. Таке розуміння цінності, корисності та привабливості мінеральних вод притаманно більшості споживачів і виробників ФМВ, а формалізовано воно у статуті Асоціації сертифікованих сомельє мінеральної води – «Спілки водних сомельє» (Water Sommelier Union - Wassersommelier Union e.V. - WSU). В Україні сенсорний аналіз мінеральних вод практично не проводиться, а тому висвітлення розвитку такого напрямку маркетингу в деяких країнах світу, задач WSU і перспектив створення в нашій країні подібної спілки було метою цієї роботи.

Робота виконана на основі аналізу матеріалів доступних джерел інформації [1-3] та власних досліджень.

У 2024 році, 18–19 жовтня, відбулася вже 13 щорічна зустріч членів міжнародної Професійної Асоціації «Спілки водних сомельє», яка налічує 204 дійсних члени, у тому числі 40 організацій постійних і 5 асоційованих членів з наступних країн: Австрії, США, Канади, Чехії, Китаю, Франції, Англії, Туреччини, Домініканської республіки, Індії, Гонконгу, Португалії, Румунії, Литви, Росії, Іспанії, Швейцарії, Тайваню, Таїланду, Латвії, Сінгапуру та Німеччини (тут штаб-квартира Спілки). Всі рядові члени Професійної Асоціації є сертифікованими сомельє води, які успішно пройшли сувору двотижневу навчальну програму в Академії Doemens у місті Граефельдінг, Німеччина. Метою Асоціації є просування всіх питань, що стосуються водних сомельє, і надання можливостей для постійного професійного розвитку. Регулярно WSU пропонує заходи та семінари з професійного розвитку німецькою та англійською мовами, проводить заходи для обміну ідеями, досвідом та можливостями з членами Асоціації. Святкування “Mineral Water Day”, загальні збори, серія лекцій на цікаві актуальні теми з сектору мінеральних вод,

демонстрація своїх сенсорних здібностей – такою була програма чергової щорічної зустрічі членів WSU-2024. Актуальна і важлива тема, висвітлена на зустрічі - мікро- та нанопластики у мінеральній фасованій воді: аналіз складний, адже вміст, як і інших забруднюючих речовин, мінімальний у порівнянні з поверхневими водами, а вплив на здоров'я недостатньо досліджений. Європейська асоціація курортів (EAR), що співпрацює із Спілкою водних сомельє, на міжнародному фестивалі води «Bled Water Festival-2024» (13–14 червня, Словенія) підтримала ініціативу «Цілюща вода», підкреслюючи важливість розуміння мінеральних вод, досліджень їх безпеки та якості, технологічних інновацій тощо

Проведені за нашої участі опитування споживачів ФМВ (у ресторанах, торгівельних закладах і на курорті) у грудні 2023 року, також засвідчили, що майже половина респондентів (47 %) віддають перевагу смаку мінеральної води (умова лояльності: за однакової ціни). В деяких ресторанах Львова, Києва, Одеси сомельє пропонують відвідувачам карту вин і карту мінеральних вод. Перспективність впровадження такого інноваційного маркетингового кроку не може викликати сумніви в Україні, що має величезні запаси унікальних мінеральних вод. Адже водні сомельє - це добре підготовлені, компетентні консультанти, які підвищують цінність природних мінеральних та природних лікувальних вод. В названих вище країнах Європи водних сомельє можна знайти в багатьох місцях, як в HORECA, так і в торгівлі напоями, на розливах мінеральної води і під час різноманітних заходів, адже сертифіковані сомельє не обмежуються сферою ресторанного господарства. У сфері експлуатації джерел мінеральної води (свердловини, перекачування та розливу) водний сомельє може працювати як експерт з маркетингових кампаній з доданою вартістю, а також здійснювати прямі продажі напоїв та гастрономічних продуктів - завдяки своїм глибоким знанням, він/вона інформує та консультує клієнтів у сфері громадського харчування та постачання напоїв щодо особливих характеристик та переваг брендів мінеральних вод, які вони представляють, таким чином підвищуючи визнання та обіг продукту в торгівлі, в харчовій промисловості та виробництві напоїв.

Висновки. Виконано огляд стану і розвитку сенсорного аналізу мінеральних вод як інноваційного напрямку маркетингу мінеральних, у тому числі фасованих мінеральних, вод в деяких країнах Європи і світу. Актуальність поглиблених досліджень сенсорних характеристик мінеральних вод в нашій країні та впровадження такого інноваційного маркетингового кроку вважаємо перспективним напрямком розвитку галузі ФМВ.

#### **Перелік джерел інформації**

1. Sensory Assessment for Water – URL: [https://www.wassersommelier-union.com/wp-content/uploads/2019/12/WSU\\_Flyer\\_Sensory-Assessment.pdf](https://www.wassersommelier-union.com/wp-content/uploads/2019/12/WSU_Flyer_Sensory-Assessment.pdf)
2. Water Sommelier Union. - URL: <https://www.watersommelier-union.com/>
3. Bled Water Forum.- URL:<https://www.bledwf.com/forum/>

Розглядаючи методологію як засіб вивчення та аналізу способів і методів пізнання, розвитку знань щодо обґрунтування певних тверджень, вважаємо актуальним і необхідним розгляд окремих методологічних аспектів технології фасованих питних вод і напоїв (ФВ). Це обумовлено кількома причинами, однак поштовхом є ситуація сьогодення, тобто наявність в країні досить складної ситуації з водозабезпеченням великих груп населення через воєнні дії на великій території. Досить важливою є також постійна критика та закиди щодо шкоди для довкілля, якої завдає ПЕТ-тара, використовувана для пакування ФВ. Метою роботи був порівняльний аналіз впливів на довкілля різних видів пакування ФВ (сумніви щодо важливості та необхідності самих ФВ як соціального запиту жителів країни вже практично зникають) та методик виконання відповідних досліджень тари, використовуваної для ФВ, тощо.

Робота виконана на основі аналізу матеріалів доступних джерел інформації [1–3].

Результати дослідження, представлені у таблиці, стосуються основних напрямків, що обговорюються при аналізі впливу матеріалу пакування ФВ на довкілля.

Таблиця

<b>Виробництво 1 млн од. тари, ємністю 0.5л, потребує</b>	<b>ПЕТ-тара</b>	<b>Алюмінієва тара</b>	<b>Картон/бумажна тара</b>	<b>Скляна тара</b>	<b>ПЕТ-тара для газованих ФВ</b>
Середня вага, г	<b>8.3</b>	<b>19.7</b>	<b>21.8</b>	<b>300.6</b>	<b>22.2</b>
Використання води, млн л	<b>17.434</b>	<b>28.425</b>	<b>51.923</b>	<b>109.531</b>	<b>47.375</b>
Використання викопного палива, гігаджоуль (GJ)	<b>958</b>	<b>1342</b>	<b>1056</b>	<b>4320</b>	<b>2639</b>
Викиди парникових газів, т CO <sup>2</sup>	<b>50</b>	<b>155</b>	<b>75</b>	<b>383</b>	<b>141</b>
Можливість переробки, %	<b>~100</b>	<b>~ 70</b>	<b>~100</b>	<b>~100</b>	<b>~100</b>
Термін розпаду у природі, роки	<b>100-500</b>	<b>80-500</b>	<b>5</b>	<b>500-1000</b>	<b>100-500</b>

Аналіз практично кожного з положень цієї таблиці свідчить про переваги використання для виготовлення ФВ саме ПЕТ тари. Так, 100 % реальне повторне використання матеріалу ПЕТ (у складі тари, одягу, предметів щоденного вжитку тощо) робить практично безпідставним обговорення термінів його розпаду у природному середовищі. Прості економічні розрахунки свідчать, що при використанні ПЕТ, як видно з таблиці, (а) можливим є зменшення використання викопного палива та викидів діоксиду вуглецю,



«парникового газу», що так необхідно для сталого розвитку і, одночасно, так повільно досягається в усіх без виключення країнах; (б)можливо суттєво скоротити у виробництві ПЕТ-тари витрати прісної води, дефіцит якої вже став проблемою для всього людства.

Досить важливою, на наш погляд, методологічною проблемою є відсутність адекватного наукового і методичного супроводу роботи виробників ФВ. Фундаментальні розробки і методичні документи, що були виконані вітчизняними дослідниками у попередні роки і стали базовими для напрацювання низки регламентів європейської та інших асоціацій виробників ФВ, мало відомі сьогодні як виробникам ФВ, так і деяким дослідникам технологій ФВ, пакування ФВ тощо. Використання сучасних методів аналізу показників якості води та забруднюючих воду речовин, актуальних технологій і сучасного обладнання, нових матеріалів і пакування потребують осмислення можливостей їх використання, навчання та оволодіння відповідними навичками. А для цього надважливою є поглиблена підготовка профільних фахівців у співробітництві з виробниками ФВ, постійне навчання та адекватне інформаційне забезпечення, розробка, доопрацювання та видання методичної літератури для галузі виробництва ФВ тощо.

Отже, методологічні проблеми технологій фасованих вод обумовлені, переважно, недостатньою увагою як науковців, так і виробників ФВ до системних поінформованості та відповідальності за якість і безпечність цієї продукції, такої необхідної для життя навіть в складних умовах сьогодення.

#### **Перелік джерел інформації**

1. Progress Report. IBWA. Alexandria, VA, USA.2023. URL:[https://issuu.com/ibwa/docs/2023\\_progress\\_report\\_final](https://issuu.com/ibwa/docs/2023_progress_report_final)
2. Bottled Water. Code of Practice. Effective January 1, 2021. Alexandria, VA, USA.2021. URL:<https://bottledwater.org/wp-content/uploads/2023/02/IBWA-MODEL-CODE-2020-Rev-2020-FINAL102822.pdf>
3. Стрікаленко Т. В. Управління ризиками у виробництві фасованих питних вод.- «Ресурси природних вод Карпатського регіону»: XX міжнар. науково-практ. конф.(Львів, 26-27 травня, 2022) Зб. наукових статей - Львів: НУ «Львівська політехніка». 2022. С.195-198.

## **СЕКЦІЯ 7**

# **ВОДОБОРОТНІ СИСТЕМИ В ПРОМИСЛОВОСТІ ТА ЕНЕРГЕТИЦІ. ОЧИЩЕННЯ ПРОМИСЛОВИХ СТІЧНИХ ВОД**

## Дослідження фільтруючого матеріалу afm в процесі контактної коагуляції при фільтрації води з поверхневого джерела

Іван Потапчук, Наталія Гусятинська

*Національний університет харчових технологій, Київ, Україна*

**Вступ.** У світі постійно зростає попит на воду, оскільки ступінь забезпеченості населення чистою питною і технічною водою має значний вплив на темпи економічного та соціального розвитку держав. Слід зазначити, що якість водних ресурсів суттєво впливає на стан здоров'я та благополуччя населення. Так, за даними ВООЗ, щороку у світі близько 25% населення піддається ризику споживання неякісної питної води, а понад 80% усіх захворювань людини безпосередньо пов'язані із вживанням неякісної води, до складу якої входять речовини, що можуть викликати токсичні ефекти, в тому числі мутагенні та канцерогенні [1]. Наразі в Україні склалася загрозлива ситуація щодо антропогенного забруднення поверхневих джерел в південних та східних районах в результаті воєнної агресії.

Таким чином, пошук нових та оптимальних технологічних рішень та застосування новітніх матеріалів для очищення води з поверхневих джерел є актуальним питанням.

**Матеріали і методи.** Під час експериментальних досліджень використовували аналітичні, хімічні, фізико-хімічні методи з використанням приладів та методик досліджень якості води згідно ДСанПіН 2.2.4-171-10 та ДСТУ 7525:2014. Фільтрувальний матеріал AFM® – це інертний аморфний алюмосилікат (скло), що використовується як фільтруюче середовище при одно- або двокомпонентній фільтрації як у відкритих (RGF), так і в закритих (напірних) фільтрах для очищення різних джерел води, таких як ґрунтові води, поверхневі води, морська вода та стічні води. AFM® має оптимізовану форму та розміри частинок для фільтрації. Також AFM® не є пасивним фільтруючим середовищем – його поверхня активується за допомогою хімічної та термічної обробки в процесі, подібному до сольгелю, де структура поверхні кожного зерна матеріалу змінюється, що призводить до появи стійкої поверхні матеріалу до біозростання, а також збільшення активної площі фільтрації матеріалу [2]. Об'єктом дослідження є застосування в технології очищення поверхневих вод фільтруючого матеріалу AFM виробництва Dryden Aqua в комбінації із гіпохлоритом натрію та коагулянтами гідроксхлориду алюмінію або хлориду заліза.

**Результати.** Метод контактної коагуляції в змозі забезпечити високий і стійкий ефект прояснення води при різних фізико-хімічних умовах, що змінюються за сезонами року, з меншими дозами коагулянту, ніж у звичайній схемі очищення води з відстоюванням та фільтрацією [3].

Для проведення досліджень нами розроблена принципова технологічна схема, що включає такі стадії очищення води: 1) окислення гіпохлоритом натрію; 2) груба фільтрація 130 мкм; 3) коагуляція при напірній фільтрації на різно-фракційному матеріалі AFM (рис. 1).

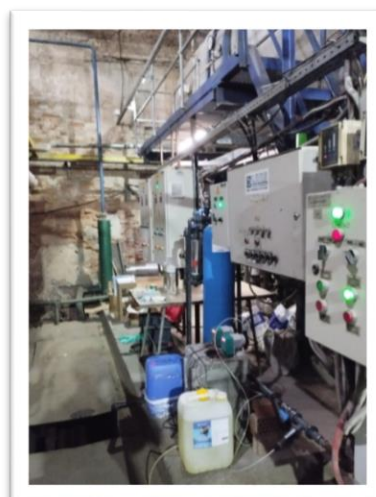
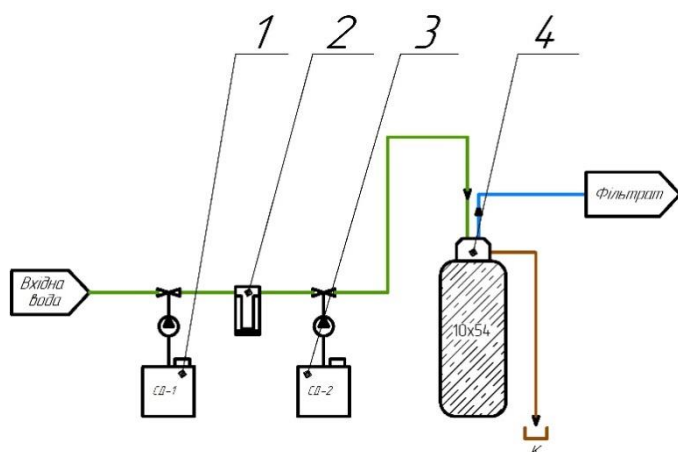


Рис. 1. Схема установки для випробування: 1- станція дозування гіпохлориту натрію 2- дисковий фільтр 130 мкм; 3- станція дозування коагулянту; 4 – мультимедійний фільтр завантажений 3-ма фракціями АФМ

Таблиця 2. – Усереднені результати аналізу очищеної води на модульній установці для випробувань за різних варіантів очищення

Найменування показника	Значення			
	Вхідна вода	Гіпохлорит натрію з поліхлоридом алюмінію	Гіпохлорит натрію з хлоридом заліза	за ДСанПН 2.2.4-171-10
рН	7,46	7,66	6,93	6,5-8,5
Забарвленість, град.	79,00	21,00	21,00	<20
Каламутність, мг/дм <sup>3</sup>	17,30	0,20	0,20	<0,58(1,5)
Жорсткість загальна, мг-екв/дм <sup>3</sup>	7,350	6,400	6,720	<7
Лужність загальна, мг-екв/дм <sup>3</sup>	6,720	5,360	3,600	нерегл.
Марганець, мг/дм <sup>3</sup>	0,632	0,010	0,010	<0,05
Нітрати, мг/дм <sup>3</sup>	15,00	15,00	15,00	<50
Перманганатна окиснюваність, мг/дм <sup>3</sup>	17,60	8,10	5,30	<5

**Висновок.** Отже, за результатами промислових випробувань встановлено, що застосування запропонованої технології очищення води з використання установки контактної коагуляції на базі фільтруючого матеріалу АФМ, який забезпечує контактну коагуляцію та механічну фільтрацію може забезпечувати стабільний результат при використанні комбінації реагентів: гіпохлорит і коагулянт, а також дотриманні швидкості фільтрації не більше 8-10 м/год.

#### Перелік джерел інформації

1. Питна вода [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [http://www.ukrcsm.kiev.ua/media/umtst\\_doc/pres\\_conf/water.pdf](http://www.ukrcsm.kiev.ua/media/umtst_doc/pres_conf/water.pdf) ].

2. Фільтруючий матеріал AFMS. Режим доступу: <https://nerex.ua/catalog/filtruyuchiy-material-afms-3-20-40mm-pak1000kg-kg>

3. С.С. Душкін , Г.І. Благодарна , С.С. Душкін , Т.О. Шевченко. Контактні прояснювачі в процесах підготовки питної води. Комунальне господарство міст, 2021, том 1, випуск 161

**Отримання реагентів очищення стічних вод від фосфатів при утилізації промислових відходів, що містять сполуки заліза**  
**Кожура Олег, Цибуля Євген, Ярошенко Вікторія, Лахман Марія**  
*ННІ «Український Державний Хіміко-Технологічний Університет»*

**Вступ.** Одним із основних шляхів надходження фосфатів у навколишнє середовище є побутові та промислові стоки. На відміну від інших джерел, із стічних вод фосфати можуть бути ефективно видалені, що дозволяє суттєво послабити явища евтрофікації. Осадження фосфатів солями феруму(III) є найбільш доступним способом їх вилучення, тим не менше, саме висока вартість реагентів є однією із основних перешкод на шляху до широкого впровадження такої технології очищення.

Титанова промисловість для отримання титанових пігментів чи металічного титану використовує ільменітові концентрати, при збагаченні яких неодмінно утворюються багатотоннажні відходи залізовмісних сполук. Частина таких сполук, як наприклад залізний купорос виробництва ПАТ Суміхіпро, використовуються промисловістю, інші не переробляються та створюють тиск на довкілля. Тільки один ТОВ "Запорізький титано-магнієвий комбінат" накопичив на своїх хвостосховищах близько 1 млн. т відходів сольового плаву хлораторів з вмістом  $\text{FeCl}_2$  до 25%. Утилізації таких відходів крім іншого може бути бюджетним джерелом реагентів водоочищення.

**Матеріали і методи.** Плави хлораторів ТОВ "ЗТМК" складу:  $\text{NaCl}$  - 36,8%,  $\text{KCl}$  - 1,6%,  $\text{MgCl}_2$  - 2,1%,  $\text{TiO}_2$  - 3,6%,  $\text{C}$  - 4,1%,  $\text{Cl}^-$  - 49,1%,  $\text{AlCl}_3$  - 1,3%,  $\text{FeCl}_3$  - 2,8%,  $\text{FeCl}_2$  - 23,1%,  $\text{MnCl}_2$  - 2,1%,  $\text{CaCl}_2$  - 1,5%,  $\text{SiO}_2$  - 7,1%, нерозчинний залишок 15,8% розчиняли у воді при Т:Р = 1:2. Одержану суспензію фільтрували, фільтрати піддавали окисненню киснем у присутності сполук зв'язаного азоту при 70-90°C протягом 3-5 год. Для окиснення використовували герметичний термостатований газорідний реактор об'ємом 750 мл з нижньоприводною пропелерною мішалкою (2700об/хв) встановленою в циркуляційному контурі. Конструкція масообмінного обладнання дозволяла отримати газорідну суміш з об'ємним вмістом газу до 20%. У процесі окиснення отримували суспензію осаду ферум(III) гідроксиду у розчині хлоридів натрію, феруму(III) та домішкових катіонів:



Одержану суспензію фільтрували, осад ферум(III) гідроксиду промивали та висушували при 105°C протягом 3 годин.

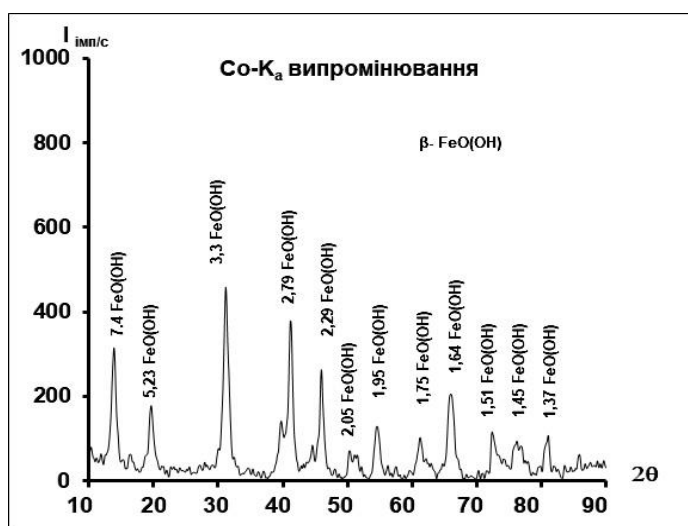
**Результати.** Водні розчини сольового плаву хлораторів містять складну суміш хлоридів катіонів різних металів. В процесі окиснення в умовах високої температури відбувається утворення та термогідроліз іонів феруму(III), кислотність розчину зростає до  $pH < 1$ . Через високу кислотність у осад не переходять іони домішок, відбувається селективне осадження сполук феруму(III).

На рис.1 показана рентгенограма продукту окиснення розчину ферум(II)

хлориду киснем. Рефлекси рентгенограми вказують на отримання осадів  $\beta$ -FeO(OH). Одержані осадки добре фільтруються та промиваються від домішок. При їх розчиненні у 30% соляній кислоті одержано 40% розчини ферум(III) хлориду, які характеризуються високою чистотою та можуть бути використані у якості коагулянту завислих домішок та осаджувача фосфатів із стічних вод. Величина екзотермічного ефекту процесу окиснення ферум(II) хлориду киснем дозволяє, в промислових умовах, підняття та підтримання температури реакційних розчинів здійснювати без підведення енергії ззовні.

Кислі фільтрати, з яких осаджено біля третини від загальної кількості сполук заліза, при їх випаренні дозволяють осадити та повернути в роботу солевих хлораторів приблизно половину вмісту натрію хлориду. Одержані після цього фільтрати піддавали електрохімічному регенеруванню хлору та ферум(II) хлориду в розділених діафрагмою електролізерах з графітовими анодами та катодами. Високий катодний потенціал  $\varphi_{Fe^{3+}/Fe^{2+}}^0 = +0,771V$  і електропровідність кислого насиченого розчину хлориду натрію дозволяють проводити регенерацію хлору з низькими витратами струму, а оборотні розчини ферум(II) хлориду повертати на стадію окиснення та осадження ферум(III) гідроксиду.

**Висновок.** Каталітичне окиснення розчинів вилуговування плавів солевих хлораторів дозволяє осадити ферум(III) гідроксид високої чистоти та отримати із нього 40% розчини ферум(III) хлориду придатні для використання у якості коагулянтів та реагентів осаджувачів фосфатів при обробці стічних вод. З фільтратів осадження ферум(III) гідроксиду зручно регенерувати та



**Рис.1 Рентгенівська дифрактограма продукту окиснення киснем розчинів вилуговування плаву солевих хлораторів**

повернути у виробництво тетрахлориду титану хлорид натрію та хлор зв'язаний у ферум(II,III) хлориди. Запропоновані процеси характеризуються високою енергоефективністю.

УДК 628.16.094.3–926.214:544.526.5

### **Оцінка впливу попереднього фотоозонування на ступінь фотокаталітичної деструкції нпар у водопровідній воді**

**Юлія Швадчина, Віра Вакуленко**

*Інститут колоїдної хімії та хімії води ім. А.В. Думанського НАН України, Київ, Україна*

**Вступ.** Гетерогенне фотокаталітичне окиснення неіоногенних ПАР (НПАР) за відсутності сильних окисників зазвичай проходить дуже повільно і неглибоко. Підвищення ступенів розкладу НПАР та мінералізації реакційної суміші здатне забезпечити фотохімічне окиснення його розчину сильним окисником, наприклад фотоозонування ( $O_3/УФ$ ), але воно потребує надто великих доз озону, що істотно підвищує енергетичну складову у вартості цього способу і робить його економічно непривабливим [1]. Використання різних комбінацій фотокаталітичних методів окиснення екотоксикантів за участю озону пропонується дослідниками для підвищення ступеня їх розкладу у воді, але єдиного оптимального рішення досі не існує [2].

На швидкість і ступінь фотокаталітичного розкладу органічних сполук у воді суттєво впливає цілий спектр параметрів: хімічна природа і концентрація цільової сполуки, окисника, каталізатора та супутніх домішок; спектр та інтенсивність УФ-випромінювання; температура; рН середовища тощо.

**Мета роботи** – визначення можливості підвищення ступеня деструкції неіоногенних ПАР шляхом послідовного окиснення його розчинів у водопровідній воді у дві стадії: за допомогою попередньої короткотривалої  $O_3/УФ$ -обробки невеликими, економічно доцільними дозами озону з наступним фотокаталітичним доокисненням  $TiO_2/УФ$  протягом 120 хв.

**Матеріали і методи.** Об'єктом дослідження був розчин нонілфенолетоксилату (ОП-10) у водопровідній воді ( $C_0=50$  мг/дм<sup>3</sup>, рН 7,8). В якості фотокаталізатора використовували  $TiO_2$ Aldrich (powder) (>99,8 %  $TiO_2$ ; >90 % анатазу, <10 % рутилу;  $S_{ВЕТ} = 8,75$  м<sup>2</sup>/г), при концентрації 1,0 г/дм<sup>3</sup>.

Фотокаталітичне окиснення розчинів ОП-10 проводили у два етапи. На першому – фотоозонування розчинів ОП-10 різними дозами озону проводили на лабораторній установці, оснащій комп'ютерною системою реєстрації технологічних параметрів процесу озонування, у кварцовому реакторі ( $V = 0,44$  дм<sup>3</sup>) при зовнішньому УФ-опроміненні ( $\lambda = 254$  нм) [1]. Шляхом зміни концентрації озону в озono-повітряній суміші ( $6\pm 1$  та  $17\pm 2$  мг/дм<sup>3</sup>) при сталій швидкості її подачі ( $\sim 0,07$  дм<sup>3</sup>/хв) досягали необхідних для дослідження малих (2,5–9) мг/дм<sup>3</sup> та середніх (40–50) мг/дм<sup>3</sup> доз поглиненого озону ( $D_{\text{погл. } O_3}$ ). На другому етапі фотокаталітичне доокиснення розчинів ОП-10 у присутності 1,0

г/дм<sup>3</sup> TiO<sub>2</sub> проводили в скляному відкритому реакторі з зовнішнім УФ-опроміненням ( $\lambda = 200\text{--}400$  нм) суспензії ( $V = 70$  см<sup>3</sup>, товщина шару (l) – 1 см) згори на відстані 24 см від поверхні розчину при перемішуванні магнітною мішалкою протягом 2 год. Аналогічно провели TiO<sub>2</sub>/УФ-обробку початкового розчину ОП-10, виключаючи перший етап.

Концентрацію ОП-10 у початковому розчині, в пробах після фотоозонування та обробки TiO<sub>2</sub>/УФ (після відокремлення каталізатора центрифугуванням (8000 об/хв)) визначали за максимумом ( $A_{224}$ ) спектрів його поглинання за допомогою спектрофотометра Shimadzu UV-2450. Хімічне споживання кисню (ХСК) вказаних проб визначали за стандартною методикою.

**Результати.** Фотокаталітичне окиснення TiO<sub>2</sub>/УФ початкового розчину ОП-10 протягом 2 годин знизило його концентрацію та ХСК реакційної суміші на 65 та 17,5% відповідно. Короткотривале (1–3 хв) фотоозонування розчину ОП-10, яке забезпечувало поглинання озону в дозах менших за 5 мг/дм<sup>3</sup>, знизило концентрацію ОП-10 на  $\leq 52\%$ . Вищий ступінь первинної деструкції  $\Delta C = 70,4\text{--}85,6\%$  у порівнянні з TiO<sub>2</sub>/УФ-обробкою досягався за доз поглиненого озону (8–50) мг/дм<sup>3</sup> при фотоозонуванні розчину ОП-10 протягом 7–25 хв (табл.1).

Таблиця 1. – Характеристика розчинів ОП-10 (початкового та окиснених окремо TiO<sub>2</sub>/УФ і O<sub>3</sub>/УФ)

Процес обробки	t <sub>обр</sub> , хв	C <sub>озв</sub> ОПС, мг/дм <sup>3</sup>	D <sub>погл.</sub> O <sub>3</sub> , мг/дм <sup>3</sup>	C <sub>ОП-10</sub> , мг/дм <sup>3</sup>	ХСК, мгО/дм <sup>3</sup>
–	–	–	–	50,0	126
TiO <sub>2</sub> /УФ	120	–	–	17,5	104
O <sub>3</sub> /УФ	2–3	6±1	3,5±1	35,7	103
	1–2	17±2	5±0,5	24	102
	7–8	17±2	8,5±0,5	14,8	100
	25	17±2	45±5	7,2	94

В той же час O<sub>3</sub>/УФ-обробка при всіх дозах поглиненого озону несуттєво зменшувала ХСК реакційних сумішей у порівнянні з TiO<sub>2</sub>/УФ-обробкою, навіть при значних D<sub>погл.</sub> O<sub>3</sub> (40–50 мг/дм<sup>3</sup>) ступінь деструкції за ХСК ( $\Delta XСК, \%$ ) не перевищував 25 %.

Це свідчить, з одного боку, про недостатню ефективність фотоозонування при тривалості обробки та дозах озону, обмежених рамками даного дослідження. З іншої сторони, зменшення ХСК суміші після O<sub>3</sub>/УФ-обробки говорить про ймовірне полегшення умов для подальшого TiO<sub>2</sub>/УФ-окиснення продуктів деструкції ОП-10, утворених на попередній стадії.

При двостадійному (O<sub>3</sub>/УФ+TiO<sub>2</sub>/УФ) окисненні ступінь первинної деструкції ОП-10 ( $\Delta C, \%$ ) поступово зростає зі збільшенням D<sub>погл.</sub> O<sub>3</sub>. Причому найбільша різниця в  $\Delta C = 42\%$  у порівнянні з O<sub>3</sub>/УФ-обробкою була при меншій D<sub>погл.</sub> O<sub>3</sub>, а найменша  $\Delta C \sim 1\%$  – при значній D<sub>погл.</sub> O<sub>3</sub> (40–50 мг/дм<sup>3</sup>). У порівнянні з TiO<sub>2</sub>/УФ навпаки максимальну різницю в  $\Delta C = 21\%$  демонстрували розчини, які поглинули найбільшу дозу O<sub>3</sub> (рис. 1а).



Ступінь деструкції ОП-10 за ХСК при двостадійному ( $O_3/УФ+TiO_2/УФ$ ) окисненні його розчину у водопровідній воді зростає в 1,9–3 рази у порівнянні з  $TiO_2/УФ$  та  $O_3/УФ$  при всіх дозах поглиненого озону (рис. 1б).

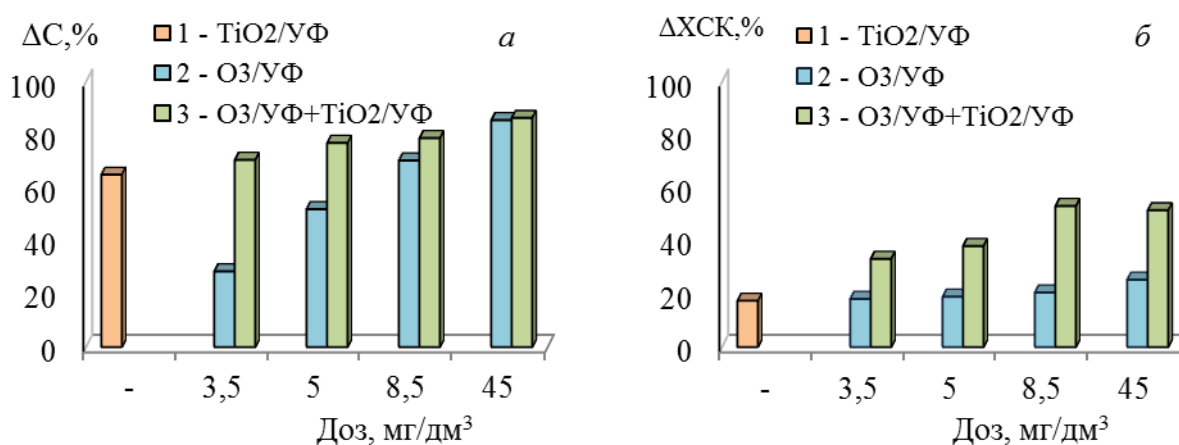


Рисунок 1. Ступінь деструкції ОП-10 за зниженням концентрації (а) та ХСК (б) при окисненні його розчинів у водопровідній воді: 1 – окремо  $TiO_2/УФ$  протягом 120 хв.; 2 – окремо  $O_3/УФ$  за різних режимів фотоозонування протягом 1–25 хв; 3 – при послідовному окисненні його розчинів  $O_3/УФ$  (1–25 хв) +  $TiO_2/УФ$  (120 хв)

Найбільший ступінь розкладу суміші за ХСК 53,2% та максимальне збільшення  $\Delta ХСК$  (32,6 і 35,7)% порівняно з  $O_3/УФ$  та  $TiO_2/УФ$ , відповідно, досягались при тривалості попереднього фотоозонування 7–8 хв і  $D_{\text{погл. } O_3} = 8,5 \text{ мг/дм}^3$ . Треба відзначити, що при більшій тривалості попереднього фотоозонування 25 хв і  $D_{\text{погл. } O_3} 40\text{--}50 \text{ мг/дм}^3$ , розглянуті показники були меншими. Вірогідно, при глибокій деструкції ОП-10 на попередній стадії, в реакційній суміші утворюється фракція низькомолекулярних продуктів, які гірше сорбуються на поверхні каталізатора, тим самим гальмуючи подальший процес деструкції фотокаталізом і зменшуючи його ефективність.

Ступінь деструкції за ХСК при двостадійному ( $O_3/УФ+TiO_2/УФ$ ) окисненні ОП-10 і  $D_{\text{погл. } O_3} \geq 5 \text{ мг/дм}^3$  ( $\Delta ХСК_3$ , %) був вищим, ніж сумарний в окремих процесах ( $\Delta ХСК_2 + \Delta ХСК_1$ , %), тобто спостерігався синергійний ефект, найбільш виразний при  $D_{\text{погл. } O_3} = 8,5 \text{ мг/дм}^3$  ( $53\% > (20,6 + 17,5)\%$ ).

**Висновки.** Таким чином, показано можливість підвищення у 3 рази ступеня фотокаталітичної ( $TiO_2/УФ$ ) деструкції за ХСК екоотоксиканту ОП-10 шляхом попереднього короткотривалого (7–8 хв) фотоозонування його розчину у водопровідній воді малими  $D_{\text{погл. } O_3}$  ( $8,5 \text{ мг/дм}^3$ ). Вплив попереднього фотоозонування при  $D_{\text{погл. } O_3} \geq 5 \text{ мг/дм}^3$  на ступінь фотокаталітичної деструкції ОП-10 у водопровідній воді за ХСК носить синергійний характер.

#### Перелік джерел інформації

1. Швадчина Ю.О., Вакуленко В.Ф., Сова А.М. Глибока деструкція неіоногенного ПАР Тритону Х-100 у воді удосконаленими процесами

окиснення за участю озону. *Хімія і технологія води*. 2023. Т. 45, № 2. С. 131–142.

2. Agustina T.E., Ang H.M., Vareek V.K. A review of synergistic effect of photocatalysis and ozonation on wastewater treatment. *J. Photochem. and Photobiol. C:Photochem. Rev.* 2005. V. 6. P. 264–273.

УДК 66.084

## **Перспективи використання гідродинамічної кавітації для нейтралізації стоків молочної промисловості**

***Богдан Целень, Олександр Ободович, Анна Недбайло, Любов Гоженко, Наталія Радченко***

*Інститут технічної теплофізики НАН України, м. Київ, Україна*

**Вступ.** Зростання виробничих потужностей підприємств молочної промисловості веде до збільшення обсягів стічних вод, які представляють значну загрозу для довкілля. Причиною цього є висока органічна забрудненість жирами, білками та лактозою, активний розвиток різноманітних мікроорганізмів та високий вміст хімічних речовин через залишки миючих засобів. При виборі технології нейтралізації необхідно враховувати комплексність підходу, яка передбачає використання різних методів очистки. Оскільки стічні води молочної промисловості є складною і нестабільною за складом полідисперсною системою та належать до категорії висококонцентрованих (органічне забруднення) і IV класу небезпеки. Потрапляння у водойми стоків, які не відповідають нормам може спричинити активний ріст водоростей та зниження кисню у воді, що веде до деградації екосистем. Тому дослідження у напрямку інтенсифікації існуючих способів і розробки нових, а також обладнання на їх основі є актуальним.

У даній роботі авторами розглянуто концепцію інтенсифікації процесу очищення стічних вод молочної промисловості з використанням керованої гідродинамічної кавітації.

**Матеріали і методи.** Для проведення досліджень використано кавітаційний пристрій для подрібнення волокнистих матеріалів. Пристрій складається з крильчатки (кавітатора), насадженої на валу електродвигуна, оснащеного частотним перетворювачем, стандартного конфузора, горловини з діаметром 55 мм, довжиною 67,5 мм та дифузора. Принцип його роботи побудований на перетворенні механічної енергії в гідравлічну за рахунок створення кавітації на лопатях. Гідродинамічна кавітація створює інтенсивний дискретно-імпульсний динамічний вплив на дисперсну систему, що обробляється. Таким чином у пристрої реалізується спрямований вплив на мікро- і нанорівні на субмолекулярні структури, клітини мікроорганізмів, керуючи кінетикою процесів тепло- і масообміну, перебігом хімічних і біохімічних реакцій у розчинах, а також біохімічних реакцій у розчинах.

Дослідження проводили при тривалості обробки 60÷90с і різних значеннях числа кавітації – 1,8; 0,6 і 0,3 на двох типах рідин. Перша - молочна

сироватка з показниками хімічного споживання кисню 75 мг/л. Друга – стічні води молокозаводу (без господарсько-побутових, дощових та дренажних стоків) з хімічним споживанням кисню 1440 мг/л. Експерименти проводили при температурі рідини 20°C. У дослідженні використовували стандартні методи оцінки технологічних параметрів молочної сироватки та стічних вод. Результати експериментальних досліджень обробляли методами математичної статистики.

**Результати.** Вивчено вплив тривалості обробки в умовах кавітації на дисперсність жирової фази молочної сироватки з вмістом жиру 0,2 %, на ефект очищення молочної сироватки від жиру, за завислими речовинами, хімічним споживанням кисню.

Відомо, що диспергування жирової фази відбувається протягом перших секунд обробки після чого встановлюється рівновага.

Аналіз отриманого фракційного розподілу розміру (діаметра) жирових крапель молочної сироватки показав, що при тривалості обробки 90 с та значенні числа кавітації 0,3, середній діаметр жирових крапель складав 2,6 мкм. При цьому, переважну більшість становили жирові краплі діаметром менше 2 мкм.

Вивчено вплив тривалості кавітаційної обробки (при значенні числа кавітації 0,3) на ефективність очищення молочної сироватки та встановлено, що при збільшеній часу обробки концентрація жиру зменшилась на 22 %, зважених речовин на 15÷18%, хімічне споживання кисню на 8÷10 %.

Дослідження показників очищення стічних вод показали, що при тривалості кавітаційної обробки 60÷90 с з кавітаційним числом 0,6÷0,3 концентрація жиру зменшувалась на 20÷25 %, завислих речовин на 22 %, хімічне споживання кисню на 12÷15 %.

**Висновки.** Результати проведених експериментальних досліджень з вивчення закономірностей очищення молочної сироватки та стічних вод у кавітаційному потоці показали, що ефект очищення при кавітації може бути досягнутий за більш короткий час, аніж при турбулентному перемішуванні. Наведені вище результати дослідження та методика можуть розглядатися як основа для подальшого вивчення кавітаційного методу очищення стічних вод, який потенційно може використовуватися як самостійний метод або в комплексі з іншими методами очищення.

УДК 546

**Сонохімічний синтез композиту “наночастинки  $\text{Cu}_2\text{O}$ -клинноптилоліт” та його використання для активації перйодатів в окиснювальній деградації моноазобарвника Acid red 14**

**Юрій Сухацький, Роман Мних, Володимир Цимбалюк,  
Мартин Созанський**

*Національний університет “Львівська політехніка”, Львів, Україна*

**Вступ.** Селективні за формою і розміром наночастинки металооксидних матеріалів на основі міді (Cu), з властивою їй природою перехідного металу,

хорошою каталітичною активністю, наявністю кількох ступенів окиснення, великою поширеністю та порівняно невисокою вартістю, знаходять багато застосувань: у газових сенсорах, біосенсорах, електрохімічних сенсорах; пристроях перетворення сонячної енергії та магнітних носіях інформації, літій-іонних батареях, суперконденсаторах; для генерування водню; у фотокаталізі; біомедицині (протимікробні, протигрибкові засоби, антибіотики, засоби із антиканцерогенними й антиоксидантними властивостями); як каталізatori в органічних синтезах і для ефективного генерування активних форм Кисню у передових процесах окиснення для деградації органічних полютантів у водних середовищах.

Дві форми оксидів міді ( $\text{CuO}$  і  $\text{Cu}_2\text{O}$ ) мають структуру напівпровідників *p*-типу. Наночастинки обидвох оксидів міді, крім їх особливих електричних та оптичних властивостей, володіють також ще й іншими перевагами, а саме: хорошою стабільністю в розчинах і нижчою вартістю, порівняно із наночастинками оксидів інших перехідних металів. Фізичні властивості наночастинок оксидів міді залежать від їх розміру, форми та морфології.

Ми здійснили двостадійний синтез композиту “наночастинки  $\text{Cu}_2\text{O}$ -клиноптилоліт” із використанням ультразвукової (УЗ) кавітації на першій стадії (стадії йонного обміну) та гідразину як відновника йонів  $\text{Cu}^{2+}$  до наночастинок  $\text{Cu}_2\text{O}$  у клиноптилоліті на другій стадії. Також дослідили ефективність одночасної активації калію перйодату УЗ-кавітацією і синтезованим композитом “наночастинки  $\text{Cu}_2\text{O}$ -клиноптилоліт” для окиснювальної деградації моноазобарвника Acidred 14 як забруднювача водних середовищ.

**Матеріали і методи.** Для сонохімічного синтезу композиту “наночастинки  $\text{Cu}_2\text{O}$ -клиноптилоліт” використовували фракції природного клиноптилоліту Сокирницького родовища (Закарпатська область, Україна) із розміром зерен у діапазоні (у мм): 0,063–0,1; 0,1–0,25; 0,25–0,5; 1,0–1,5 (еквівалентний діаметр частинок клиноптилоліту дорівнював, відповідно, 0,082; 0,175; 0,375 і 1,250 мм).

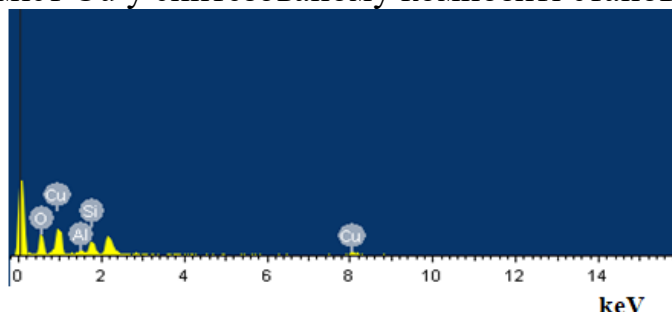
Синтез композиту відбувався у дві стадії: 1) активований УЗ-кавітацією йонний обмін катіонів у каркасі клиноптилоліту на йони  $\text{Cu}^{2+}$  із водних розчинів прекурсора ( $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ); 2) відновлення йонів  $\text{Cu}^{2+}$  до наночастинок  $\text{Cu}_2\text{O}$  у цеоліті гідразином у лужному середовищі. Особливістю першої стадії було додавання по краплях 200  $\text{cm}^3$  водного розчину прекурсора з концентрацією  $\text{CuSO}_4$  10 % мас. до суспензії клиноптилоліту (20 г клиноптилоліту в 100  $\text{cm}^3$  дистильованої води). Під час додавання прекурсора до суспензії клиноптилоліту цю гетерогенну систему впродовж 10 хв. піддавали дії акустичних коливань УЗ-діапазону (генератор УЗ – Bandelin Sonopuls HD 2200.2; частота УЗ – 20 кГц; питома потужність кавітаційного оброблення реакційного середовища – 200 Вт/дм<sup>3</sup>). Для забезпечення повного обміну катіонів у каркасі клиноптилоліту на йони  $\text{Cu}^{2+}$  із водних розчинів прекурсора проводили постійне перемішування (частота – 300 об./хв.) гетерогенної системи за кімнатної температури упродовж 2 год. Перед додаванням у систему відновника (гідразину) корегували рН до ~ 7,5 водним розчином аміаку. Після додавання відновника (у 2-кратному надлишку) реакційну систему

червонувато-коричневого кольору також перемішували (частота – 300 об./хв.) упродовж 2 год. за кімнатної температури, а потім залишали на ніч для осідання частинок композиту. Супернатант зливали, отриманий продукт (композит “наночастинки  $\text{Cu}_2\text{O}$ -клинотилоліт”) промивали 5 разів дистильованою водою і сушили за температури  $60\text{ }^\circ\text{C}$  до постійної маси.

Якісний та кількісний елементний склад композиту було оцінено методом енергодисперсійного рентгенівського аналізу (EDX) на INCA Energy 350 (Oxford Instruments). Морфологію та середній розмір наночастинок  $\text{Cu}_2\text{O}$  досліджували методом сканівної електронної мікроскопії (SEM) за допомогою мікроскопа ZEISS EVO 40XVP.

Дослідження окиснювальної деградації барвника Acid red 14 (концентрація водного розчину барвника –  $30\text{ мг/дм}^3$  або  $59,8 \cdot 10^{-6}\text{ моль/дм}^3$ ; об’єм розчину –  $200\text{ см}^3$ ) із використанням системи “УЗ/композит “наночастинки  $\text{Cu}_2\text{O}$ -клинотилоліт”/ $\text{KIO}_4$ ” здійснювали у скляному реакторі об’ємом  $300\text{ см}^3$ . Окиснення Acid red 14 ініціювали дозуванням окисника ( $\text{KIO}_4$ ) і каталізатора його розкладу (композиту “наночастинки  $\text{Cu}_2\text{O}$ -клинотилоліт”) у водний розчин азобарвника за постійного перемішування (частота – 500 об./хв.). Під час досліджень забезпечували  $\text{pH}=3$ , мольне співвідношення барвник: $\text{KIO}_4=1:40$ , вміст каталізатора –  $4\text{ г/дм}^3$ , температуру –  $65\text{ }^\circ\text{C}$ . Значення  $\text{pH}$  середовища регулювали додаванням водного розчину хлоридної кислоти з концентрацією  $0,1\text{ моль/дм}^3$ . Одночасно із дозуванням окисника і каталізатора його розкладу з утворенням активних форм Кисню здійснювали оброблення реакційного середовища акустичними коливаннями УЗ-діапазону (частота УЗ –  $22\text{ кГц}$ ; густина потужності УЗ-оброблення –  $51\text{ Вт/дм}^3$ ). Генератором УЗ-кавітації був магнітострикційний випромінювач “Ultrasonic Disintegrator” UD-20. Концентрацію барвника Acid red 14 визначали спектрофотометрично з використанням спектрофотометра UV-3100PC (максимум поглинання за довжини хвилі  $516\text{ нм}$ ).

**Результати.** EDX-спектр (рис. 1) підтвердив наявність наночастинок  $\text{Cu}_2\text{O}$  у каркасі клинотилоліту. Крім піків Al, Si та O, характерних для клинотилоліту, з’явилися нові піки за  $1,0$  та  $8,05\text{ кеВ}$ , які відповідали міді. Вміст Cu у синтезованому композиті становив  $56,71\%$  мас.



Element	Weight%	Atomic%
O	27.29	53.77
Al	2.61	3.05
Si	13.39	15.04
<b>Cu</b>	<b>56.71</b>	<b>28.14</b>
Totals	100.00	100.00

Рис. 1. EDX-спектр композиту “наночастинки  $\text{Cu}_2\text{O}$ -клинотилоліт”

За використання зерен клинотилоліту із діаметром у діапазоні  $1,0\text{...}1,5\text{ мм}$  отримували композит, поверхня якого була рівномірно заповнена частинками  $\text{Cu}_2\text{O}$  із середньозваженим діаметром  $60,5\text{ нм}$ .

Ступінь окиснювальної деградації моноазобарвника Acid red 14 у системі “УЗ/композит “наночастинки  $\text{Cu}_2\text{O}$ -клинотилоліт”/КІО<sub>4</sub>” упродовж 30 хв. досягав 90,6 %. Це підтверджено суттєвим зменшенням інтенсивності поглинання за довжини хвилі 516 нм (рис. 2).

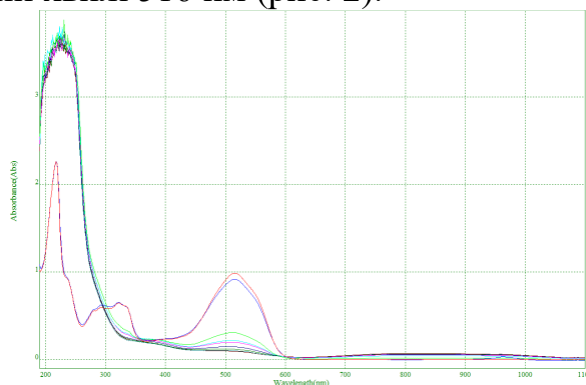


Рис. 2. UV/Vis-спектри окиснювальної деградації барвника Acid red 14

**Висновки.** Виконано двостадійний сонохімічний синтез композиту “наночастинки  $\text{Cu}_2\text{O}$ -клинотилоліт” (вміст  $\text{Cu}$  – 56,71 % мас.). Композит виявляв високу активність під час розкладу КІО<sub>4</sub> для окиснювальної деградації моноазобарвника Acid red 14 – забруднювача аквасередовищ.

УДК628.33

### Вплив руйнування каховської ГЕС на підприємства та шляхи їх вирішення

<sup>1</sup>Надія Климова, Юрій Горбачов, Мальцев Богдан,

<sup>2</sup>Олексій Хлопицький, Ігор Коваленко, Наталія Макаренко

<sup>1</sup>ННІ «Український державний хіміко-технологічний університет»,

<sup>2</sup>Український державний університет науки і технологій, Дніпро

Каховське водосховище – друге за площею водосховище в Україні (площа – 2155 км<sup>2</sup>) та перше за об’ємом води (обсяг води – 18,19 км<sup>3</sup>), розташоване в трьох областях України (Запорізька, Дніпропетровська та Херсонська) і має довжину 240 км. Спорудами гідровузла довжиною майже 4 км рівень р. Дніпро було піднято на 16 м. Тому негативні наслідки цього об’єкту дуже суттєві.

Наслідки підриву греблі Каховської ГЕС значні не лише для дикої природи але і не менш важливі для економіки, енергетики, населення і врешті – ядерної безпеки України, які мають оцінюватися відповідними спеціалістами. Розгляд цієї катастрофи з інших ракурсів (зокрема, вплив на забезпечення водою населення в районі Каховської ГЕС, вплив на сільське господарство тощо) вже здійснений в інших публікаціях низкою науковців та журналістів.

З нашої точки зору значно суттєві наслідки отримали підприємства та енергетика тих регіонів, які так чи інакше були прив’язані до Каховського водосховища. Особливо це стосується підприємств Криворізького та Нікопольського районів, а також окупованої частини Запорізької області. Всі ці

підприємства споживали воду у значних кількостях, як для виробництва продукції так і для свого сталого існування. Кількість води яка використовувалася рахувалася сотнями тисяч кубометрів.

На даний час підприємства Нікопольського та Криворізького районів стикнулися із ситуацією, коли нестача води призводить до порушення технологічного процесу але і іноді до короткочасної зупинки виробництв, що дуже критично відчувається, особливо якщо це виробництво енергетичного сектору. На більшості підприємств цих районів існують так звані «шламонакопичувачі», які мають значні запаси води але не використовуються зовсім для технологічного процесу. Впровадження на підприємствах енергетичного та металургійного комплексів технологій повторного використання води, надасть цим підприємствам більшої автономності, меншої залежності від первинного забору води із річок, каналів та водосховищ. Технології повторного використання води різняться по підприємствам в залежності від їх специфіки виробництва, отже однієї технології яка б підходила для прикладу енергетичному та металургійному виробництву, нажаль немає. Все це дає можливість замислитися не тільки самим підприємствам а й територіальним громадам на яких вони розташовані, як їм існувати далі і взаємодіяти. Для вирішення цієї проблеми потрібно залучити професіоналів практиків, науковців та додаткові інвестиції з боку держави.

## **СЕКЦІЯ 8**

# **ЕКОЛОГО-ЕКОНОМІЧНІ АСПЕКТИ РАЦІОНАЛЬНОГО ВОДОКОРИСТУВАННЯ**



**Екологічна оцінка якості води басейну річки Стрий****Людмила Роман, Сергій Сухарев***ДВНЗ «Ужгородський національний університет», Ужгород, Україна*

**Вступ.** Річки Карпатського регіону є основним джерелом прісної води та здавна використовувались для господарської діяльності людини: зрошення сільськогосподарських угідь, рибне господарство, тощо. Забруднення поверхневих водотоків внаслідок надмірного антропогенного впливу може призвести до зменшення їх об'єму чи погіршення якості. Як результат - порушення гіроекологічного балансу та зменшення біологічного різноманіття Карпатського регіону.

Річка Стрий протікає у межах Львівської області України і є типовою гірською річкою [1]. Її протяжність складає 232 км, а площею басейну 3060 км<sup>2</sup>. Басейн річки Стрий територіально розподілений вздовж населених пунктів та промислових центрів, діяльність яких безпосередньо впливає на гідрохімічний режим водотоку.

Метою роботи є оцінка якості води річки Стрий за деякими гідрофізичними та гідрохімічними показниками якості води.

**Матеріали і методи.** Екологічну оцінку якості води річки Стрий проведено весною 2024 року. Для дослідження було обрано 3 точки пробовідбору у місцях, де відсутні стаціонарні створи: №1 - нижче гирла р. Завадка; №2 - нижче гирла р. Яблунька; №3 - нижче гирла р. Опір.

Аналітичні дослідження проведено використовуючи наступні технічні прилади: спектрофотометр атомно-абсорбційний ContrAA 300; фотометр фотоелектричний КФК-3-01; аналізатор рідини Флюорат 02-3М; рН метр; кондуктометр ОК 117.

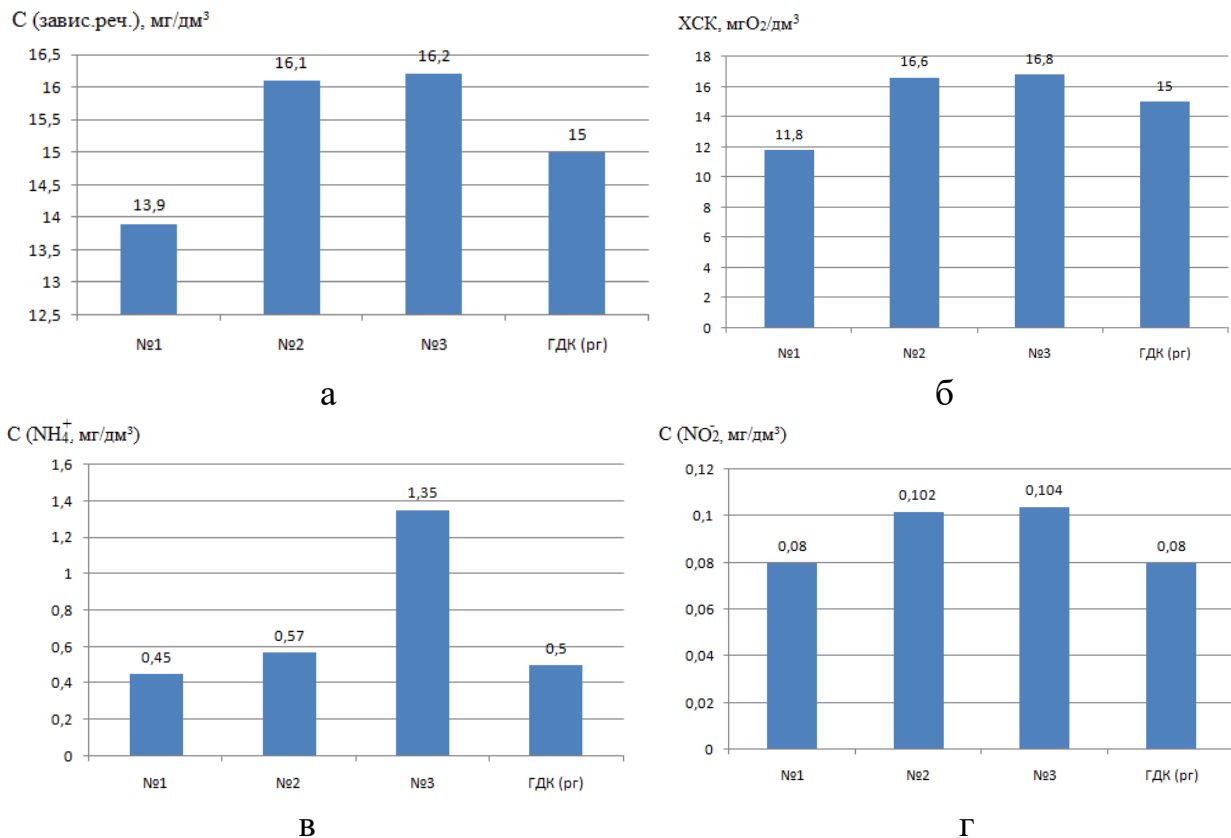
**Результати.** Аналіз результатів гідрофізичних досліджень вказує на категорію води «чиста» (табл.1.). Всі визначувані показники в нормі.

Таблиця 1. – Результати гідрофізичних досліджень якості води річки Стрий

Назва показника	Точки пробовідбору			Нормована величина [2]
	№1	№2	№3	
Прозорість, см	32 ± 1	32 ± 2	35 ± 1	≥30
Кольоровість, градуси	10 ± 2	12 ± 1	13 ± 1	<20
Запах, бали	1,0	1,0	2,0	<2

Результати гідрохімічних досліджень засвідчують перевищення ГДК (гранично-допустимі концентрації) за окремими показниками якості води для вод рибогосподарського призначення: завислих речовин, нітрит-іонів, амоній-

іонів та ХСК (хімічне споживання кисню). Так, концентрація завислих речовин перевищує норму на 1-1,4 мг/дм<sup>3</sup> (рис. 1, а.), ХСК відповідно на 1-2 мг/дм<sup>3</sup> (рис. 1, б.), амоній-іонів – на 0,5-0,8 мг/дм<sup>3</sup> (рис. 1, в.) та нітрит-іонів – на 0,2 мг/дм<sup>3</sup> (рис. 1, г.).



**Рис. 1. Результати окремих гідрохімічних досліджень води річки Стрий за весняний період 2024 року**

Основним джерелом надходження амоній-іонів у досліджувану річку є стоки комунального господарства та сільськогосподарська діяльність. Що вже сьогодні призводить до погіршення якості води і створює загрозу гідрохімічного режиму основного з водотоків Львівщини.

**Висновки.** Причинами погіршення екологічного стану річки Стрий є недостатньо очищені або неочищені стічні води житлово-комунального сектору, рекреаційних комплексів та стоки сільськогосподарської діяльності.

З'ясовано транскордонний характер забруднення р.Стрий, внаслідок накопичення шкідливих речовин вниз за течією водного об'єкту.

#### **Перелік джерел інформації**

1. Екологічний паспорт Львівської області за даними 2022 року. Львів. 2023. С. 204.
2. Гігієнічні нормативи якості води водних об'єктів для задоволення питних, господарсько-побутових та інших потреб населення. Наказ МОЗ України № 721 від 02.05.2022 р.

## Якість, безпечність та фізіологічна повноцінність питної води в реаліях сьогодення в Україні

Андрусишина Ірина

ДУ «Інститут медицини праці імені Ю.І. Кундієва НАМН», Київ, Україна

**Вступ.** Антропогенний вплив на довкілля, військові дії в Україні ведуть до зростання кількості ксенобіотиків у природних та питних водах. Увага дослідників останнім часом сконцентрована на проблемах забруднення водного середовища важкими металами, пестицидами, фармпрепаратами, численними відходами пластикових виробів, електронного обладнання, мийних засобів, а також зброї [1,2]. В Україні зараз діють 89 нормативних документів щодо оцінки фізико-хімічних показників якості води. Зростання кількості нових забруднювачів джерел питної води потребує розширення переліку речовин, які мають контролюватись, а це більше ніж у діючому ДСанПіН 2.2.4-171-10.

**Матеріали і методи.** Дослідження побудовано на аналізі вітчизняних та зарубіжних видань щодо сучасного стану забруднення водного середовища ксенобіотиками, необхідності провести аналіз їх небезпеки для здоров'я людини та оцінити перспективи впровадження європейських нормативів та керівних документів міжнародних організацій в Україні вперспективі розширення показників та методів контролю, враховуючи реалії сьогодення, що пов'язані зі зростанням кількості нових забруднювачів питної води.

**Результати.** Встановлено, що більше половини лікарських препаратів виводяться з організму людини в біологічно активній формі і практично не втрачають своїх властивостей. Вони в колосальних кількостях потрапляють до стічних вод, а звідти — в джерела питної води. Але крім фармацевтичних препаратів існують і інші джерела забруднюючих речовин — їжа, зубна паста, штучні підсолоджувачі, кофеїн, вітаміни, а також косметика, лосьйони, сонцезахисні креми, парфуми, дезодоранти — список можна продовжувати і продовжувати.

Відходи лікарських і фармацевтичних засобів отримали назву органічні мікрозабруднювачі (ОМЗ) [2]. Вони включають фармацевтичні препарати, засоби особистої гігієни, а також пестициди і входять в перелік пріоритетних забруднюючих речовин Управління з охорони довкілля США та Європейського агентства з довкілля. ОМЗ можуть бути як природного, так і антропогенного походження. Наприклад, джерелами ОМЗ в Центральній Європі є: (I) – промислові стічні води; (II) - стоки сільського господарства і тваринництва; (III) – звалища побутових відходів; (IV) – побутові та лікарняні стічні води, з яких ОМЗ можуть потрапляти в різні джерела води.

Однією із найбільших екологічних проблем сучасного урбанізованого світу, що потребують вирішення, є забруднення пластиком ґрунту і вод Світового океану. До найшкідливіших забруднювачів належать бромованіантіпірени, фталати та свинцеві термостабілізатори. Серед інших відомих шкідливих хімікатів, які вимиваються з пластичних полімерів — це антиоксиданти, УФ-стабілізатори та нонілфенол. Важкі метали потрапляють в

полімерні матеріали з різними добавками: стабілізаторами, антиоксидантами, наповнювачами, ініціаторами полімеризації і іншими [2,7].

Слід згадати, що вода з пластикових пляшок може містити мікрочастинки пластику, які як і пластик містять ряд токсичних речовин – ПХБ (поліхлорованібіфеніли), БФА (бісфенол А), ПАВ (поліциклічні ароматичні вуглеводні), важкі метали та інші сполуки [2,3]. Фталати, як і полібромідні дифенілові ефіри та пестициди, входять до переліку хімічних речовин, які руйнують ендокринну систему шляхом імітації молекули деяких гормонів, наприклад, статевих стероїдних. Ендокринні дизраптори можуть сприяти виникненню вроджених дефектів статевої системи [7].

Все більше наукових даних демонструє, що збройні конфлікти та військова діяльність значно сприяють забрудненню навколишнього середовища. Поряд з викидами органічних забруднювачів, включаючи поліароматичні вуглеводні (ПАВ), полі хлоровані біфеніли (ПХБ), а також гексахлорциклогексан (ГХГ), дихлордифенілтрихлоретан (ДДТ) і гексахлорбензол (НСВ) у довклілля потрапляє ціла низка токсичних металів - Pb, Cu, Cd, Sb, Cr, Ni, Zn та ін.[ 4-9] з подальшим надходженням їх у воду, що збільшує ризик негативного впливу на організм людини.

Підходи до моніторингу всіх вище згаданих факторів забруднення водного середовища потребують використання сучасних чутливих методів контролю за забрудненням, регламентування цих нових забруднювачів та пошуку способів очищення питної води.

**Висновки.** В європейському і українському водному законодавстві держава бере на себе зобов'язання забезпечувати своїх громадян безпечною для здоров'я питною водою. Основні принципи такої безпеки (нормування показників безпеки поетапно від джерела до споживача питної води) збігаються в європейському й українському водному законодавстві і викладені у низці спеціальних законів. Діюча в Україні законодавча база у сфері охорони питних вод загалом підтримує Європейське водне законодавство, але багато в чому застаріла, не досить детальна, використовує застарілі методи контролювання, які не відповідають європейським критеріям безпеки питних вод. В Україні лише санітарні норми і правила ДСанПіН 2.2.4-171-10 фактично є галузевими документами, що обов'язкові до виконання усіма виробниками питної води у відповідності з водним законодавством України. Тож водне законодавство України може бути поліпшене при використанні Європейського досвіду з впровадження підходів та методів з реабілітації водних об'єктів і поліпшення якості природньої та питної вод зокрема. Таким чином, слід відзначити, що зростаюча кількість забруднювачів водного середовища, що потребує пошуку нових підходів до очищення питної воді та впровадження змін та доповнень до діючої законодавчої бази України.

#### **Перелік джерел інформації**

1. Національна доповідь про якість питної води та стан питного водопостачання та водовідведення в Україні у 2022 р. К., 2023. 397 с.
2. Сучасні шляхи до чистої води колективна монографія./ автори. Розділ 1. Склад питної води та його вплив на здоров'я людини: колективна

монографія./ автори Андрусишина І.М., Бурлакова В.С., Василюк С.Л., Дрікер Ю.Д., Косогін О.В., Косогін І.В., Мітченко Т.Є., Мудрик Р.Я., Орестов Є.О., Поляков В.Р., Стеценко В.В., Шахновський А.М; під ред. Т. Е. Митченко. -Київ : КПІ імГоряСікорського, 2024. 376С.

3. Rosborg I. Drinking water minerals and mineral balance[F.Kozisek, I.Rosborg, O.Selinus, M.Ferrante, D.Jovanonic ].-SIP.: Switzerland, 2015. 105 p.

4. Lindsey B. D. Lithium in groundwater used for drinking-water supply in the United States. / Lindsey B. D. et al. // *Science of the Total Environment*. 2021. Т. 767. P.144691. [https://doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.144691].

5. Environmental impact of metals resulting from military training activities: a review./ Barker, A.J., Clausen, J.L., Douglas, [et all.] // *Chemosphere*, 2021. 265.129110. [https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.129110].

6. Lithium in drinking water / Resourse for ptimacyagencies EPA 815-F-23-007, Office of Water (MS-140), 2023 p. 6

7. Koelmans, A.A.; Mohamed Nor, N.H.; Hermsen, E.; Kooi, M.; Mintenig, S.M.; De France, J. Microplastics in freshwaters anddrinking water: Critical review and assessment of data quality. //*Water Res.*2019, 155, P.410–422.[https://doi.org/10.1016/j.watres.2019.02.054].

8. Gębka K., Bełdowski J., Bełdowska M. The impact of military activities on the concentration of mercury in soils of military training grounds and marine sediments.//*Environ SciPollut Res Int*. 2016. 23,22. 23103–23113. [https:// doi: 10.1007/s11356-016-7436].

9. Jarvis A.L., JusticeJ.R., Elias M.C., Schnitker B., Gallagher K. Perfluorooctane Sulfonate in US Ambient Surface Waters: A Review of Occurrence in Aquatic Environment sand Comparison to Global Concentrations //*EnvironmentalToxicologyandChemistry*. 2021. V. 40, N. 9. P. 2425–2442, [https:// DOI: 10.1002/etc.5147].

## **Monitoring and innovative methods in water treatment. Their role in ensuring the environmental stability of natural ecosystems**

**Mykhailo Tertychnyi, Svitlana Shulga**

*National University of Food Technologies, Kyiv, Ukraine*

**Introduction.** Ensuring clean water is crucial for public health and environmental stability. Traditional water treatment methods require replacement with safer technologies. Monitoring programs and innovations play a key role in achieving sustainable development in the water treatment sector.

**Materials and Methods.** The study material consists of water samples from various sources (rivers, lakes, tap water). The primary research method is a comprehensive analysis of literary sources.

**Results.** Effective water treatment methods are essential for preserving water quality, ensuring public health, and maintaining the ecological stability of water ecosystems. With increasing urbanization, industrialization, and global population growth, the demand for clean water becomes ever more critical. Water pollution

causes serious problems for natural ecosystems and human health, especially in regions with limited access to clean water.

The use of effective water quality monitoring programs is a vital tool for preventing pollution and ensuring compliance with water quality standards. These programs should be based on clearly defined goals, include planning for sampling locations and frequency, and consider available resources for analyses and data processing. It is essential to identify pollution impacts and trends in water quality changes.

The application of innovative methods in water treatment is crucial for sustainable development in the sector. For example, replacing health-hazardous aluminum-based coagulants with safer and more efficient iron-based coagulants ensures high-quality water without health risks. This is part of international initiatives to improve water treatment standards.

It is also important to develop public policies promoting conscious water consumption, which plays a significant role in preserving water resources for future generations, contributing to sustainable development and improving the quality of life.

**Conclusions.** The development and implementation of effective water treatment methods are critical for providing drinking water, which is the foundation of public health and the ecological stability of natural ecosystems. Water monitoring programs help detect pollution and assess the impact of human activities on water resources. Achieving sustainable development requires a combination of innovations in water treatment, effective government regulation, and increasing environmental awareness among the population.

#### **List of References.**

1. Guidelines for drinking-water quality: fourth edition incorporating the first and second addenda. Geneva: World Health Organization; 2022.

УДК 628.16

### **Целюлозний фільтр модифікований органо-неорганічним композитом на основі вуглецевих сорбентів та оксиду заліза**

**Коломієць Є.О.<sup>1</sup>, Рождественська Л.М.<sup>1</sup>, Куделко К.О.<sup>1</sup>, Яценко Т.В.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>*V.I. Vernadskii Institute of General and Inorganic Chemistry of the NAS of Ukraine, Kyiv, Ukraine*

**Вступ.** Фільтрувальні матеріали на основі целюлози завдяки відновлюваності та здатності до біологічного розкладання демонструють високий потенціал для застосування в процесах очищення емульгованих маслянистих стічних вод, розділення нафти і води тощо. Перевагою використання целюлозної основи є висока пористість, гнучкість, екологічність та доступність сировини [1]. До основних недоліків слід віднести низьку механічну міцність в вологому стані та низькі роздільні властивості. Тому створення композиційних фільтрів на основі целюлози з заданими параметрами

структури та функціональними властивостями є перспективним напрямком наукових досліджень.

**Матеріали і методи.** У даній роботі вирішується завдання отримання композиційного фільтру з олеофобними властивостями на основі целюлозного паперу для очищення маслянистих розчинів та видалення нафтопродуктів, вміст яких перевищує ГДК ( $0,3 \text{ мг/дм}^3$ ). Поставлене завдання вирішується модифікуванням целюлозної основи (паперового фільтру) композитним органічно-неорганічним модифікатором, який включає вуглецевий матеріал (ВМ) та  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ . Вибір компонентів обумовлений доступністю та дешевизною вихідних компонентів, а також можливістю керувати гідрофільними ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) та гідрофобними властивостями (ВМ). Двокомпонентний модифікатор заповнює пори в об'ємі целюлозної основи та формує шар композиту на її поверхні. Таким чином, формується вторинна пористість, яка підвищує розділові властивості фільтру і дозволяє затримувати молекули нафтопродуктів. Окрім того, додавання неорганічної складової до целюлози здатне підвищити механічну міцність фільтру. Варіювання вмісту компонентів в композиті дає можливість регулювати ступінь гідрофобності поверхні і таким чином, змінювати розділову здатність фільтру.

В роботі досліджено вплив гідрофобного компоненту композиту на властивості отриманого фільтру. Для цього отримували фільтрувальні матеріали, в якості вуглецевого компоненту композиту використано промислове активоване вугілля (БАУ) та біовугілля, отримане з залишків рослинної сировини. Целюлозну основу модифікували композитом за допомогою золь-гель методу. Розчини попередньо піддавали ультразвуковому впливу для більш рівномірного розподілу ВМ в золі  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ . СЕМ мікроскопію використовували для дослідження морфологічних особливостей модифікованих фільтрів (рис. 1).

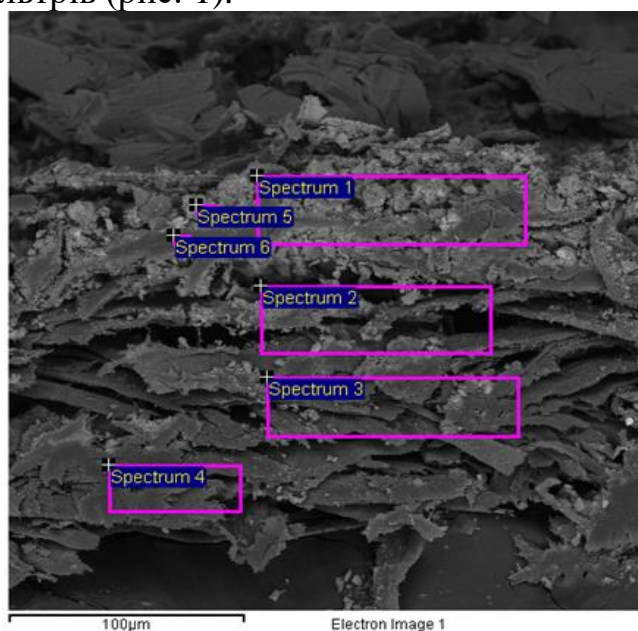


Рис. 1. СЕМ зображення перерізу целюлозного фільтру модифікованого біовугіллям та  $\text{Fe}_2\text{O}_3$

Таблиця 1 – Розподіл основних елементів по перерізу целюлозного фільтру модифікованого біовугіллям та  $Fe_2O_3$ , вагові %

Spectrum	C	O	Cl	Fe
Spectrum 1	41.96	17.24	6.78	22.07
Spectrum 2	36.35	25.97	8.47	29.21
Spectrum 3	53.87	38.66	3.48	3.99
Spectrum 4	55.13	36.55	5.04	3.28
Spectrum 5	32.13	24.31	6.49	23.30

З даних СЕМ аналізу поперечного перерізу композитного фільтру видно, що нижні шари являють собою волокна целюлози, а верхній шар більш щільний і складається з волокон целюлози та частинок модифікатора. Згідно даних енергодисперсійного аналізу, наночастки заліза більш розподілені на поверхні та верхніх шарах фільтру з біовугіллям, а на поверхні зразку з БАУ більш помітні кристаліти ВМ розміром 2–3 мкм, які вкриті лусочками неорганічного оксиду розміром 100–500 нм (рис. 2 а, б). Зразок з промисловим ВМ характеризується більш рівномірними часточками модифікатора, вочевидь він представлений в основному ВМ. (рис. 2 в)

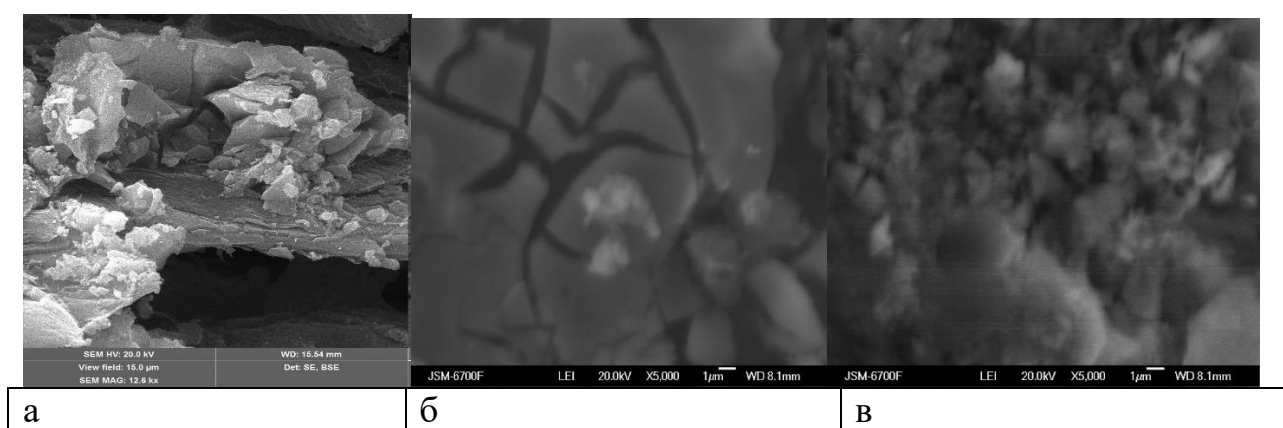


Рис. 2. СЕМ зображення поверхні целюлозного фільтру з композитом  $Fe_2O_3$  та біогенне вугілля ( а, б) та целюлозного фільтру композитом  $Fe_2O_3$  та промислове активоване вугілля

Розділові властивості зразків було тестовано при розділенні водно-нафтової емульсії, яка містила 0.1% нафти. Перед фільтруванням емульсію струшували у шейкері протягом 3 годин при температурі 15 °С. Вміст нафти



визначали за даними хімічного споживання кисню (ХСК) згідно чинної стандартної методики [2]. Вміст ВМ в композитному модифікаторі складав 2 %, а неорганічного оксиду – до 35 %. ХСК вихідного розчину складалі 0.0045 мг/л.

**Результати.** Після фільтрування нафтової емульсії значення ХСК для зразка з промисловим вугіллям було 0,001 мг/л, а зразка з біовугіллям 0 мг/л. Таким чином, після проходження водно-нафтової емульсії через композиційний фільтр ступінь розділення для фільтру з промисловим ВМ складала 80...82 %, для ВМ з біовугіллям – 98...100 %. Це може бути пов'язано з різними розподілом компонентів модифікатору в композиті та в фільтрі. Оскільки зразок з біовугіллям характеризується переважно гідрофобними властивостями (кут змочування 112°), а зразок з промисловим БАУ – гідрофільними (кут змочування 48°).

**Висновки.** Целюлозні фільтри з композитом  $Fe_2O_3$  та вугіллям мають високі розділові властивості по відношенню до емульсії нафти у воді. Дослідження впливу вмісту модифікаторів на гідрофобно-гідрофільні властивостей є предметом подальших досліджень.

#### **Перелік джерел інформації**

1. Recent advances on cellulose-based nanofiltration membranes and their applications in drinking water purification: A review. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.130171>

2. Національний стандарт України «Вода питна». Вимоги та методи контролювання якості ДСТУ 7525:2014.

УДК556.502/504

### **Що насправді відбулося у Сеймі у серпні 2024 р.: чутки і реальність**

**Наталія Осадча, Андрій Орещенко, Ірина Пальваль**

*Український гідрометеорологічний інститут ДСНС України та НАН України, Київ, Україна*

**Вступ.** У ході виробництва промислової продукції утворюється значна кількість стічних вод, відведення яких у водні об'єкти створює загрозу для їхніх екосистем та здоров'я людини. Ще більшу небезпеку створюють аварійні ситуації, в ході яких великий обсяг стічних вод надходить одночасно.

14 серпня 2024 р. на порталі Екозагроза Міндовкілля України з'явилося повідомлення про неприємний запах, помутніння та темний колір води р. Сейм. Вже наступного дня почався мор риби. Терміново був розгорнутий посилений моніторинг води р. Сейм та пошук джерела забруднення.

Метою даної роботи є аналіз аварійного забруднення р. Сейм, яке мало місце у серпні- вересні 2024 р. і призвело до важких екологічних наслідків.

**Матеріали і методи.** ічка Сейм – це ліва і найбільша притока р. Десни. Вона бере початок на території рф, в останній третині русла переходить на територію України і впадає у р. Десну неподалік смт Сосниця.

В цій роботі узагальнено результати вимірювань основних гідрохімічних показників р. Сейм та р. Десни, отриманими регіональними підрозділами Державного агентства водних ресурсів України, Держекоінспекції, ДУ

«Сумський обласний центр контролю та профілактики хвороб МОЗ України», а також власних досліджень протягом серпня-жовтня 2024 р.

Всі аналітичні визначення виконані стандартними методами [1].

Для аналізу використовувалися знімки, отримані з супутника *Sentinel-2A*, з максимальною роздільною здатністю 10 м/піксель. Джерелом даних є платформа Copernicus Open Access Hub [2].

**Результати та їх обговорення.** Вже наступного дня після повідомлення про погіршення органолептичних показників р. Сейм за 9 км від кордону з рф (с. Манухівка), вміст розчиненого у воді кисню різко знизився до рівня менше 1 мг/дм<sup>3</sup>. Безкисневі умови швидко поширювались вниз за течією річки. 17 серпня відсутність кисню у воді була зафіксована на ділянці 44 км від кордону, а 24 серпня – 119 км від кордону. Разом з посуванням цієї плями у воді Сейму відзначався неприємний гнилісний запах, велика каламутність води та наявність великої кількості чорних зависей різної дисперсності. 27 серпня ця забруднена водна маса досягла р. Десни, а відсутність належної інформаційної комунікації спровокувала паніку населення.

Які ж наслідки викликало це аварійне забруднення?

Відсутність кисню призвела до масової задухи риби, яку у великій кількості збирали вздовж берегів річки.

Величина водневого показника рН суттєво не змінилася і перебувала у межах нейтрального діапазону.

На фоні зменшення вмісту кисню у воді річки спостерігалось нехарактерно високе значення показника хімічного споживання кисню (ХСК), що характеризує сумарну кількість органічних речовин. Так, від звичайних для цього періоду значень порядку 20 мгО/дм<sup>3</sup> вони перетнули межу 100 мгО/дм<sup>3</sup>, а максимальне значення сягнуло 180 мгО/дм<sup>3</sup>.

Задіяні додаткові вимірювання небезпечних речовин токсичної дії показали їхню відсутність.

Стрімке виснаження вмісту кисню у воді могло бути спровоковане лише надходженням великої кількості органічної речовини. У практиці гідрохімічних досліджень використовують окремі діагностичні співвідношення на підставі чого можна судити про її природу. Зокрема нами використано співвідношення  $XSK_{Mn}/XSK_{Cr}$ . У даному випадку воно становило 12%, що говорить про домінування легкоокиснюваної органічної речовини. Зазвичай, це властиво стічним водам харчової промисловості, серед яких поблизу кордону з Україною знаходяться цукровий, спиртовий та дріжджовий заводи.

На основі аналізу хімічного складу стічних вод вказаних підприємств та характеру забруднення р. Сейм було висловлене припущення, що його джерелом стали відходи саме цукрового заводу. Додатково нами була проведена якісна реакція Троммера, яка підтвердила наявність залишків цукридів.

Ми звернулися до супутникових знімків території Тьоткінського цукрового заводу (рф), розташованого неподалік кордону з Україною. Поля фільтрації, де відбувається доочищення стічних вод, знаходяться за 6,5 км від заводу у бік території рф, а от 2 жомні ями розташовані у безпосередній

близькості до річки. На знімку 12 липня одна з ям була щільно вкрита фітопланктоном, який розвинувся через велику кількість нутрієнтів. А вже 21 і 26 серпня 2024 р. рідких відходів у басейні візуально не фіксувалося, разом з тим видимих порушень цілісності не простежувалося. На супутниковому знімку були визначені геометричні параметри жомної ями та розрахована кількість решток, які потрапили у р. Сейм. Всього надійшло 5700 м<sup>3</sup> відходів цукрового виробництва.

У складі бурякового жому відзначається до 80% води і разом з тим він містить велику кількість органічної речовини. Її компонентний склад представлений такими вуглеводами як пектин (20-30%), залишковий цукор (5-10%), а також білковими сполуками (8-10%). Велика кількість органічної речовини сприяє розвитку мікрофлори і спричиняє гнилісне та спиртове бродіння. Це надає гниючим решткам темного кольору і специфічного неприємного запаху.

Особливістю досліджуваного аварійного забруднення р. Сейм було те, що за довжиною річки величина ХСК у воді змінювалася дуже мало. Однією з причин могла бути недостатня розбавлююча здатність водного стоку. У період межені річка перебуває на підземному живленні і має мінімальні за рік витрати води. У 2024 р. склалися особливо посушливі умови і мінімальні витрати були меншими за їхні середні багаторічні значення. Так, за даними Гідрометцентру України у пункті р. Сейм, с. Мутино витрати у середньому складами 31 м<sup>3</sup>/с.

З другого боку органічна речовина перебувала у воді колоїдно-дисперсному стані, що стабілізувало систему і сприяло більшій міграційній здатності. Найвірогідніше, це були пектини, молекулярна маса яких коливається у межах 20-40 К Да.

Відсутність у воді розчиненого кисню блокувала дію процесу окиснення органічної речовини. Після впадіння у р. Десна, витрати якої більше, ніж утричі перевищували витрати Сейму (132 м<sup>3</sup>/с), вступив у силу процес розбавлення. Підвищення рН води до 8 од. сприяло компенсації заряду колоїдів і їх наступному переходу у завислий стан і подальшому осадженню. А наявність у воді р. Десни розчиненого кисню сприяла інтенсифікації окиснення. У створі р. Десна, м. Чернігів стан водної екосистеми значно покращився, компонентний стан органічних речовин повернувся до природного стану з домінуванням високомолекулярної складової.

Все це слугувало ефективному самоочищенню води, внаслідок чого водозабори міст Подесіння змогли забезпечити населення якісною питною водою.

**Висновки.** Не дивлячись на природне походження відходів цукрових комбінатів їхнє аварійне надходження у поверхневі водні об'єкти несе велику загрозу для водних екосистем. В першу чергу, відбувається загибель водних біоресурсів. З другого боку у природному об'єкті неможливо задіяти дієві методи очищення із застосуванням коагулянтів і флокулянтів, в той час як природні процеси самоочищення розвиваються досить повільно.

#### **Перелік джерел інформації**

1. Набиванець Б.Й., Осадчий В.І., Осадча Н.М., Набиванець Ю.Б.

Аналітична хімія поверхневих вод. – К.: Наук. думка. 2007. –456 с.

2. Copernicus Open Access Hub, доступ за посиланням <https://browser.dataspace.copernicus.eu>.

УДК 330.15:351.778.3:355.018

### **Питне водопостачання в Україні: сучасні виклики на шляху досягнення цілей сталого розвитку**

<sup>1</sup>Наталія Гусятинська, <sup>2</sup>Тетяна Чорна, <sup>3</sup>Agnieszka Dziubińska

<sup>1</sup>Національний університет харчових технологій, Київ, Україна

<sup>2</sup>Державний податковий університет, Ірпінь, Україна

<sup>3</sup>Uniwersytet Ekonomiczny w Katowicach, Польща

**Вступ.** Підтримуючи глобальні цілі сталого розвитку, проголошені резолюцією Генеральної Асамблеї Організації Об'єднаних Націй від 25 вересня 2015 року № 70/1, та результати їх адаптації з урахуванням національної специфіки розвитку, наша держава взяла на себе зобов'язання щодо їх дотримання [1]. Організація Об'єднаних Націй (ООН) визнала воду одним з найважливіших ресурсів на планеті, без якого неможливе життя як таке, а доступ до джерел чистої води згідно норм ООН є одним з найважливіших показників сталого розвитку нації, держави.

**Матеріали і методи.** Під час проведення досліджень використано дані Державної служби статистики України щодо обсягів споживання води різних категорій, інформацію Міністерства розвитку громад та територій України щодо якості питної води та стану питного водопостачання, нормативно-правові документи та ін.

**Результати.** Актуальність питань, пов'язаних із забезпеченням належного функціонування системи питного водопостачання в Україні підтверджується пильною увагою державних органів та розробленням і введенням в дію низки важливих документів. Так, однією з цілей сталого розвитку України на період до 2030 визначено «забезпечення доступності та сталого управління водними ресурсами та санітарією» (ЦСР 6. Чиста вода та належні санітарні умови) [2]. Важливими завданнями на шляху досягнення зазначеної цілі для України є:

- забезпечення доступності якісних послуг з постачання безпечної питної води, будівництво та реконструкція систем централізованого питного водопостачання із застосуванням новітніх технологій та обладнання;
- забезпечення доступності сучасних систем водовідведення, будівництво та реконструкція водозабірних та каналізаційних очисних споруд із застосуванням новітніх технологій та обладнання;
- зменшення обсягів скидання неочищених стічних вод, насамперед з використанням інноваційних технологій водоочищення на державному та індивідуальному рівнях;
- підвищення ефективності водокористування;

- забезпечення впровадження інтегрованого управління водними ресурсами.

В Україні схвалено Концепцію Загальнодержавної цільової соціальної програми «Питна вода України» на 2022–2026 роки, де поряд з визначенням сучасних проблем, пов'язаних із функціонування системи питного водопостачання в Україні, зазначені можливі варіанти покращення ситуації [3].

З 2003 р. Україна є стороною Протоколу про воду та здоров'я (Закон України від 09 липня 2003 р. № 1066-IV «Про ратифікацію Протоколу про воду та здоров'я до Конвенції про охорону та використання транскордонних водотоків та міжнародних озер 1992 року»)[4]. Оновлені Національні цільові показники до Протоколу про воду та здоров'я як Ціль 1 «Забезпечення рівного доступу до якісної і безпечної для здоров'я людини питної води належних санітарно-профілактичних заходів» увійшли до переліку стратегічних цілей та показників їх досягнення Водної стратегії України на період до 2050 року та Операційного плану реалізації у 2022 – 2024 роках зазначеної Водної стратегії, які було схвалено та затверджено розпорядженням Кабінету Міністрів України від 09 грудня 2022 р. № 1134 [5].

У 2020 році була переглянута Директива про питну воду (набула чинності в ЄС у січні 2021 р.) з метою гарантування безпечного доступу до води в Європі на основі оновлених високих стандартів питної води [6]. Серед питань зазначеної директиви виокремлено 28 основних пунктів, а також наведено мінімальні вимоги до значень показників, які використовуються для оцінки якості води, призначеної для споживання людиною (мікробіологічні, хімічні, індикаторні показники, показники для оцінки ризиків внутрішніх систем розподілу); загальні цілі та програми моніторингу води, призначеної для споживання людиною; технічні вимоги для аналізу параметрів та ін.

Наразі до основних викликів у напрямку досягнення цілей сталого розвитку в Україні можна віднести, зокрема такі: недостатня кількість водних ресурсів; забезпечення рівного права доступності питної води та санітарії; забезпечення відповідної якості і безпечності питної води; економічна доступність послуг водопостачання та водовідведення.

В той же час слід зазначити, що якість питної води із систем централізованого водопостачання не відповідає встановленим нормативам у багатьох населених пунктах України. Погіршення якості питної води, пов'язане з рядом причин: низькою якістю води в природних джерелах; застарілими технологіями водопідготовки та водоочищення; незадовільним станом водопровідних мереж, зокрема внутрішньобудинкових, зношеність яких становить близько 80 %. В сучасних умовах, окрім зазначених факторів, на стан поверхневих та підземних вод суттєво впливають бойові дії на території України. Зокрема, мова йде про забруднення поверхневих та підземних вод, ускладнення доступу населення до води через руйнування об'єктів критичної інфраструктури, загроза поширення інфекційних захворювань тощо.

**Висновок.** В цілому вирішення проблем питного водопостачання в Україні потребує комплексного підходу. В першу чергу, система забезпечення

населення питною водою гарантованої якості повинна базуватися на впровадженні сучасних технологій водопідготовки, споруд, реагентів, матеріалів та обладнання, а також відновленні мережевих систем розподілу питної води. Особливої уваги потребує питання розробки нових ефективних методів очищення природних вод та удосконалення існуючих технологічних процесів підготовки питної води. Альтернативними шляхами вирішення проблеми забезпечення населення якісною питною водою є застосування систем локального доочищення водопровідної води, бюветів, виробництво фасованих питних вод.

Крім того, важливим є створення сприятливого інвестиційного клімату в країні, удосконалення системи фіскального регулювання водокористування з метою забезпечення вирішення нагальних проблем у галузі водокористування, технічного переоснащення, модернізації житлово-комунальних підприємств та розвитку комунальної інфраструктури, стимулювання процесів ощадливого освоєння водно-ресурсного потенціалу.

### **Перелік джерел інформації**

1. Національна доповідь «Цілі сталого розвитку: Україна». URL: <https://me.gov.ua/Documents/List?lang=uk-UA&id=938d9df1-5e8d-48cc-a007-be5bc60123b8&tag=TSiliStalogoRozvitku>

2. Указ Президента України «Про Цілі сталого розвитку України на період до 2030 року» м. Київ 30 вересня 2019 року № 722/2019. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/722/2019#Text>

3. Концепція Загальнодержавної цільової соціальної програми «Питна вода України» на 2022-2026 роки, схвалена розпорядженням Кабінету Міністрів України від 28 квітня 2021 р. № 388-р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/388-2021-%D1%80#Text>

4. Протокол про воду та здоров'я до Конвенції про охорону та використання транскордонних водотоків та міжнародних озер 1992 року (укр/рос) (Протокол ратифіковано Законом № 1066-IV ( 1066-15 ) від 09.07.2003, ВВР, 2004, N 5, ст.30). URL: [https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/994\\_030#Text](https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/994_030#Text)

5. Національна доповідь про якість питної води та стан питного водопостачання та водовідведення в Україні у 2023 р.

6. Directive (EU) 2020/2184 of the European Parliament and of the Council of 16 December 2020 on the quality of water intended for human consumption (recast) Drinking water to become safer thanks to new EU-wide hygiene standards for materials and products in contact with water: <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2020/2184/oj>

**Моніторинг хлорорганічних пестицидів, поліхлорованих біфенілів та поліциклічних ароматичних вуглеводнів у поверхневій воді р. Дніпро**  
**Михайло Мілюкін, Максим Горбань**

*Інститут колоїдної хімії та хімії води ім. А.В. Думанського НАН України,  
Київ, Україна*

**Вступ.** Протягом 1994–2021 рр. було проведено моніторинг індивідуальних сполук трьох класів органічних екоотоксикантів, а саме хлорорганічних пестицидів (ХОП), поліхлорованих біфенілів (ПХБ) та поліциклічних ароматичних вуглеводнів (ПАВ), в поверхневій воді р. Дніпро. Мета даної роботи полягає в узагальненні отриманих результатів, встановленні тенденцій по зміні концентрацій ХОП, ПХБ та ПАВ у поверхневій воді, а також в оцінці ступеню небезпеки, яку становлять ці токсиканти для р. Дніпро [1–3].

**Результати.** Загальна концентрація ХОП ( $\alpha$ -,  $\beta$ -,  $\gamma$ -ГХЦГ, 4,4'-ДДЕ, 4,4'-ДДД, 4,4'-ДДТ, гептахлор, альдрин, ГХБ) знаходилася в межах від 6,1 до 20,8 нг/дм<sup>3</sup>. Середня концентрація складала 12,19±4,73 нг/дм<sup>3</sup>. За період дослідження спостерігалось незначне зростання вмісту пестицидів у воді, що пов'язано з тим, що ХОП характеризуються високою стійкістю до біодеградації. Зокрема, період напіврозпаду ДДТ у воді досягає 10 років. Також ймовірно є наявність нових джерел емісії пестицидів, що залежить від різних факторів, зокрема, від транскордонного перенесення. Це викликає накопичення ХОП у водному середовищі та поступове зростання їх концентрації.

При аналізі співвідношення індивідуальних ХОП у водних системах у воді р. Дніпро встановлені наступні закономірності. Відомо, що ДДТ з часом перетворюється в ДДЕ в аеробних і в ДДД в анаеробних умовах. Звідси випливає, що за співвідношенням (ДДЕ+ДДД)/ДДТ можливо оцінити час надходження пестициду в природне середовище. Значення цього співвідношення > 0,5 свідчить про давнє забруднення ДДТ; значення < 0,5, навпаки, є ознакою недавньої емісії ДДТ. Для більшості зразків води із р. Дніпро співвідношення (ДДЕ+ДДД)/ДДТ > 0,5, що вказує на те, що з моменту потрапляння пестициду у воду пройшов достатній час. Також слід відмітити, що високе значення співвідношення  $\alpha$ -ГХЦГ/ $\gamma$ -ГХЦГ свідчить про використання технічного ГХЦГ, низьке – про використання ліндану. У воді р. Дніпро визначені високі концентрації  $\gamma$ -ГХЦГ у порівнянні з  $\alpha$ -ГХЦГ, що може вказувати на недавню емісію саме ліндану в дану водну систему.

Загальний вміст ПХБ в поверхневій воді р. Дніпро знаходився в межах від 4,8 до 49,6 нг/дм<sup>3</sup>. Середня концентрація складала 23,13±20,64 нг/дм<sup>3</sup>. За період дослідження відбулося зростання концентрації ПХБ, що можна пояснити їх надходженням у довкілля разом з трансформаторними і конденсаторними рідинами та транскордонним перенесенням. Використання ПХБ у електричних приладах є суттєвим джерелом забруднення навколишнього середовища України. Емісія ПХБ відбувається на території всієї України і викликає

підвищення їх концентрації у водних системах. Аналіз ізомерно-специфічного складу ПХБ свідчить про те, що у поверхневій воді р. Дніпро переважали конгенери з числом атомів хлору від 4 до 6. На їх частку припадало більше 80% від загальної концентрації. Частки ди-, три-, гепта-ПХБ є незначними.

Середня загальна концентрація ПАВв поверхневій воді р. Дніпро складала  $181,76 \pm 111,42$  нг/дм<sup>3</sup>. Внаслідок того, що у 2010 р., 2011 р., 2014 р. відбір зразків води відбувався в сухий період, рівні вмісту ПАВ виявилися аномально низькими ( $< 25$  нг/дм<sup>3</sup>). За виключенням цих років середня сума ПАВ складала  $243,22 \pm 43,37$  нг/дм<sup>3</sup>. Максимальна загальна концентрація ПАВ встановлена у 2020 р., що складала  $303,9$  нг/дм<sup>3</sup>. В цілому, за період дослідження спостерігалось зростання вмісту ПАВ у воді.

У воді р. Дніпро переважають легкі двох-, трьох- та чотирьохциклічні ПАВ, що характеризуються вищою розчинністю у воді та є менш токсичними сполуками. У більшості зразків води найвищі концентрації були встановлені для нафталіну, фенантрени та флуорантени. Із маркерних співвідношень можна стверджувати, що для р. Дніпро характерним є переважання техногенної складової в структурі ПАВ, викликані процесами горіння органічних речовин.

Із проведеного аналізу рівнів вмісту екотоксикантів у інших розглянутих водних системах можна зробити ряд висновків. Для водних систем Китаю та Індії спостерігається помітна тенденція щодо зниження загальної концентрації ХОП та ПАВ. Незважаючи на це рівні вмісту цих екотоксикантів залишаються достатньо високими. Наприклад, середні значення суми ХОП у воді theGangaRiver, theHuaiRiver, theYangtzeRiver, thePearlRiverDelta складало відповідно  $317,85 \pm 380,13$ ;  $34,37 \pm 32,25$ ;  $21,27 \pm 21,77$ ;  $69,93 \pm 105,95$  нг/дм<sup>3</sup>. Сумарні концентрації ПАВ у воді theGangaRiver, theYangtzeRiver, thePearlRiverDelta теж виявилися досить високими та складали відповідно  $6911 \pm 4068$ ;  $173,51 \pm 145,85$  та  $132,87 \pm 74,69$  нг/дм<sup>3</sup>. Рівні ПХБ у природних водах є відносно стабільними та не перевищують  $50$  нг/дм<sup>3</sup>.

**Висновки.** Рівні вмісту органічних екотоксикантів в поверхневій воді р. Дніпро дещо зросли за останні десятиліття. Тому важливим завданням є продовження моніторингових досліджень по визначенню концентрацій ХОП, ПХБ та ПАВ у поверхневих водах та контролю їх емісії у навколишнє середовище. Ці сполуки є біодоступними, тому можуть становити значну загрозу для всього тваринного та рослинного світу, в тому числі людини.

#### **Перелік джерел інформації**

1. Milyukin M.V., Gorban M.V., Skrynnyk M.M. Monitoring and distribution of organochlorine pesticides, polychlorinated biphenyls and polycyclic aromatic hydrocarbons in surface river water and suspended particulate matter. *Methods Objects Chem. Anal.* 2019, 14 (3), P. 117–129. <https://doi.org/10.17721/moca.2019.117-129>

2. Milyukin M.V. Gorban M.V. Patterns of the disperse-phase distribution of organic ecotoxicants in the water of the world river systems. *Methods Objects Chem. Anal.* 2022, 17 (3), P. 33–140. <https://doi.org/10.17721/moca.2022.133-140>

3. Milyukin M., Gorban M. Investigation of the dispersed-phase distribution of organochlorine pesticides, polychlorinated biphenyls and polycyclic aromatic hydro-



carbons in natural water systems. *Chem. Chem. Technol.*, 2023, 17(4), P. 846–856. <https://doi.org/10.23939/chcht17.04>

УДК 628.1.037-049.7:628.381:504.03

### **Environmental and economic aspects of rainwater collection and use**

**Olena Kovalenko**

*Odesa National University of Technology, Odesa, Ukraine*

In the modern world, humanity increasingly faces problems of access to water resources and increasingly experiences a shortage of high-quality and safe drinking water. This is due to demographic, economic, social reasons, environmental degradation, climate change and man-made impacts on a global scale. According to experts' forecasts, the current rates of production development and population growth will only exacerbate these problems. The agrarian sector feels it very much. Because the most fresh water is spent on irrigation of agricultural crops. Most countries are trying to expand access to water through groundwater. But they also run out. Therefore, the implementation of technologies for the rational use of water resources, state regulation and control of groundwater extraction, the use of more effective water treatment technologies, the development and implementation of water use technologies, including water supply from alternative sources, are urgent tasks today [1].

Traditional sources of water supply for the population and industry are fresh surface and underground waters. Alternative sources of water include desalinated seawater or water from underground sources with high mineralization, treated sewage, rainwater, condensates of atmospheric moisture, water from glaciers, condensed vapors from the soil, and condensed water formed during plant transpiration. It is clear that such technologies will not be able to completely replace traditional water supply. But it is realistic to meet individual water needs both in the private sector and in industry [1]. The purpose of the work was to evaluate the social, ecological and economic aspects of the use of rainwater as an additional source for water use.

Not so long ago, rainwater was considered an unnecessary runoff that had to be quickly disposed of with the help of drainage and sewage systems. Today, the approach has changed. In modern conditions, rainwater is a valuable natural resource that needs to be treated with care. Compared to water from other alternative sources, rainwater has a minimal impact on the environment and, in the case of collection from the roofs of buildings, requires a less complex treatment technology before further use. In addition, collecting rainwater and using it after treatment reduces the volume of stormwater flowing into the drainage system. Accordingly, the risks of flooding territories, the costs of sewerage and wastewater treatment, and the pressure on natural water resources are reduced.

In recent decades, more and more countries around the world have begun to support a return to the technology of collecting and using rainwater. In a number of countries around the world, relevant legislation has been developed and is already in effect. Modern practice has already proven that the installation of systems for collecting, reserving and using rainwater from the roofs of residential and office buildings is promising for water use. And economic calculations performed by experts from dif-

ferent countries of the world show that it is more rational to clean and reuse rainwater than to clean it up to standards for discharge into surface water bodies [1 - 4]. The chemical composition of rainwater depends on the place of its formation and the conditions of collection. The concentration of impurities can vary in wide ranges. Accordingly, the technologies for processing such waters will also be different [4].

Modern rainwater collection and use systems consist of gutters and downspouts for draining water from roofs, a metal mesh or filter for removing leaves and stones, a water storage tank, a pumping station for supplying water to the consumer, and, if necessary, a deeper water purification system. With their use in the rainy season, it is possible to reduce water consumption from centralized water supply systems by up to 50%. Purified rainwater can be used for household needs: washing, cleaning, flushing toilets, taking a shower, watering decorative and agricultural crops. It can also be used to cool air intended for air conditioning in buildings. Rainwater can become a source of drinking water if, after purification, its indicators meet the requirements for the quality and safety of drinking water [1–4].

ONTU conducted studies on the possibility of organizing an additional source of water use at the expense of purified rainwater previously collected from the roofs of buildings. The objects of the study were a food enterprise and an educational institution. The areas of roofs for water collection were determined, the amount of rainwater that can be collected from these roofs was calculated, and the quality indicators of collected water samples were studied. Taking into account the obtained results, technological schemes for the treatment of rainwater collected from the roofs of the enterprise and educational institution are proposed. The necessary equipment was also selected, the need for reagents was calculated, and the economic efficiency of the proposed technical solutions was evaluated [1, 4]. It is planned to use the prepared water for the economic needs of the enterprise and educational institution. It has been established that the use of collected and prepared rainwater for the enterprises' own needs will allow to reduce their costs for centralized water supply and drainage, which have significantly increased with the increase in tariffs for such services.

## References

1. Kovalenko O.O., Vasylyv O.B., Shapoval E.O. (2022) Water supply from alternative sources and assessment of feasibility of its organization at a food enterprise. Water in the food industry: XIII All-Ukrainian Scientific and practical conference. Nov.17-18, 2022, Odesa, ONTU, 39 – 41 p.

2. Almeida, A.P., Liberalesso, T., Silva, C.M., & Sousa, V. (2023) Combining Green Roofs and Rainwater Harvesting Systems in University Buildings under Different Climate Conditions. *Sci. Total Environ.*, 16, 3719. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv>

3. Almeida, A.P., Liberalesso, T., Silva, C.M., & Sousa, V. (2021). Dynamic modelling of rainwater harvesting with green roofs in university buildings. *Journal of Cleaner Production*, 312, 127655. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.127655>

4. Kovalenko O.O., Chumakhan P.O. (2024) Collection and use of rainwater in educational institutions. 84 Sciences. conf. 84 Scien. conf. of scientific and pedagogical workers, April 23-26, 2024, Odesa, ONTU, 259-260. <https://ontu.edu.ua/download/konfi/2024/Abstracts-84-SCSPS.pdf>

## Підвищення ефективності знезалізнення підземних вод з використанням сучасних фільтруючих матеріалів

Тарас Кузуб

*Національний університет харчових технологій, Київ, Україна*

**Вступ.** Високий вміст заліза у підземних водах є значною проблемою водопідготовки, оскільки спричиняє утворення відкладень у трубопроводах, зниження продуктивності обладнання, погіршення смакових та органолептичних властивостей води, а також пришвидшує корозію металевих конструкцій. Накопичення заліза сприяє розвитку залізобактерій, що ускладнює експлуатацію водопостачальних систем.

Сучасні технології водопідготовки пропонують новітні рішення для знезалізнення, зокрема із застосуванням фільтруючих матеріалів з високою каталізуючою здатністю. Один із таких матеріалів — Katalox Light, який ефективно видаляє залізо, марганець та інші забруднювачі завдяки активованій поверхні та високій пористості, що дозволяє досягати високих результатів без додаткових реагентів.

**Матеріали і методи.** Для проведення досліджень було використано Katalox Light – це фільтруючий матеріал, що базується на гранульованому матеріалі з високою окисаційною здатністю. Складається з магнієвого діоксиду, що забезпечує каталіз окислення заліза та марганцю, перетворюючи їх у нерозчинну форму, яка легко видаляється з води [1].

Для визначення ефективності фільтраційного процесу проводилися лабораторні тести, у яких підземна вода з вмістом заліза на рівні 5 мг/дм<sup>3</sup> очищала через шар Katalox Light. Використовувались стандартні методи аналізу концентрації заліза до і після фільтрації за допомогою фотометричних тестів. Окрім цього, проводився розрахунок продуктивності фільтру з огляду на швидкість фільтрації, зміну рН води та ресурс роботи матеріалу.

**Результати.** Результати досліджень показали, що використання Katalox Light дозволяє знизити концентрацію заліза з 5 мг/дм<sup>3</sup> до нормативного показника 0,2 мг/дм<sup>3</sup>. Процес фільтрації відбувався при витраті води 8,00 м<sup>3</sup>/год на фільтрах з автоматичними клапанами керування.

Ефективність видалення заліза за допомогою Katalox Light визначали за формулою:

$$E = \left( \frac{C_{\text{поч.}} - C_{\text{кінц.}}}{C_{\text{поч.}}} \right) \times 100\%$$

де  $C_{\text{поч.}}$  – початкова концентрація заліза,  $C_{\text{кінц.}}$  – кінцева концентрація заліза [2].

На основі досліджень в середньому ефективність видалення заліза становить порядку 96 %.



*Рис. 1. Фільтри знезалізнєння*

Використання Katalox Light дозволяє зменшити витрати на реагенти для окислення Fe (II) та обслуговування обладнання, оскільки матеріал, що використано як завантаження, забезпечує роботу без додавання додаткових хімічних реагентів і може відновлюватись шляхом промивання водою. Це забезпечує тривалий ресурс використання матеріалу (до 3 років залежно від якості води). При зміні початкової концентрації заліза від 3 до 7 мг/ дм<sup>3</sup>, ефективність знезалізнєння води залишалась стабільною і становила не менше 90 %. Це свідчить про можливість використання матеріалу у водоочисних установках із високими вимогами до якості очищення води.

У порівнянні з традиційними методами, які використовують хлор або калій перманганат для окислення заліза, Katalox Light є екологічнішим і безпечнішим для кінцевого споживача. Дослідження показали, що при однакових умовах фільтрація з Katalox Light дає кращі результати та потребує меншого обслуговування системи, що скорочує експлуатаційні витрати на 20–30%.

**Висновок.** Отримані результати свідчать, що Katalox Light є високоефективним фільтруючим матеріалом для знезалізнєння підземних вод. Він забезпечує стабільне видалення заліза та інших забруднювачів (марганцю і сірководню) при підтриманні оптимальних умов експлуатації (рН 7–8). Це робить його перспективним вибором для промислових та побутових систем водопідготовки, де важливі як якість, так і довговічність фільтруючих матеріалів.

#### **Перелік джерел інформації**

1. Інструкція до фільтруючого матеріалу Katalox Light [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://example-filter-material.com>
2. Питна вода [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [http://www.ukrcsm.kiev.ua/media/umtst\\_doc/pres\\_conf/water.pdf](http://www.ukrcsm.kiev.ua/media/umtst_doc/pres_conf/water.pdf) ].

**Підготовка фахівців другого (магістерського) рівня вищої освіти за спеціальністю 181 «Харчові технології» та освітньо-професійною програмою «Технології цукрів, полісахаридів і підготовки води у промислових та крафтових виробництвах»**

**Інна Карпович**

в.о. завідувача кафедри технології цукру і підготовки води, к.т.н., доц.

**Наталія Гусятинська**

гарант ОП, д.т.н., проф.

Досягнення цілей сталого розвитку в Україні неможливе без якісної освіти майбутніх фахівців. Наразі сфера виробництва продуктів харчування зазнає суттєвих змін, що пов'язано з рівнем виробництва, асортиментом та якістю продукції. Відповідно до цього, сучасні виробники харчової продукції використовують різні види цукрів та полісахаридів, які відіграють роль не тільки підсолоджуючих агентів, а й сприяють структуроутворенню, стабілізації тощо. Перспективним напрямком розширення асортименту цукру та цукропродуктів є створення промислових та крафтових технологій нових цукристих речовин та полісахаридів зі спрямованою зміною їх хімічного складу, підвищеної харчової і біологічної цінності. Це нові види цукропродуктів із традиційних видів сировини з використанням харчових добавок, а також нові види цукропродуктів поліпшеної якості, органічні цукропродукти, збагачені корисними мікро- та макроелементами; цукропродукти із нетрадиційних видів сировини природного походження; рідкі цукропродукти тощо.

Важливу роль у харчуванні людини та виробництві харчових продуктів відіграє якість води. В той же час, нестабільність складу та якості питної води створює передумови для розвитку технологій додаткового очищення для виготовлення фасованих питних вод, а також харчових продуктів у промисловому та крафтовому виробництві.

На сьогодні тенденцією сучасної освіти є об'єднання суміжних ОП з метою надання більш широкого спектру знань та компетенцій, які в майбутньому фахівець зможе використати у своїй професійній діяльності.

Це актуалізує необхідність підготовки сучасних кваліфікованих спеціалістів, які мають володіти комплексом знань та навичок щодо тенденцій впровадження якісно нових технологій цукрів, полісахаридів та підготовки води для різних груп споживачів з метою забезпечення асортименту та стабільної якості продукції:

- промислового виробництва цукрів та полісахаридів, в тому числі, цукру білого, рідкого цукру, інвертного цукрового сиропу, крохмалю, крохмальних паток, сиропу з глюкози, глюкози кристалічної, пектину та ін.
- крафтового виробництва цукрів та цукропродуктів, зокрема харчових сиропів різного композиційного складу цукрів, карамелізованого цукру, цукрової пудри (цукор для обсіпки), цукру пресованого (колотого) з додаванням ароматичних добавок чи барвників та ін.

- водопідготовки для підприємств харчової галузі, виробництва фасованої питної води, крафтового виробництва харчових продуктів.

Освітньо-професійна програма **«Технології цукрів, полісахаридів і підготовки води у промислових та крафтових виробництвах»** спрямована на підготовку магістра, який володітиме фундаментальними та професійно-орієнтованими знаннями з технологій цукрів, полісахаридів і підготовки води у промислових та крафтових виробництвах та передбачає поглиблену теоретичну та практичну підготовку для проведення проектно-технологічних, виробничо-технологічних, науково-дослідних робіт з розроблення та впровадження технічних і технологічних інновацій та виконання і захисту кваліфікаційної роботи з використанням новітніх досягнень науки та промисловості, сучасних інформаційних та комп'ютерних засобів.

Практична підготовка магістрів проводиться на промислових та крафтових підприємствах України з виробництва цукрів, полісахаридів і підготовки води для харчових продуктів. **Також кафедра** має досвід дуальної освіти магістрів, зокрема на ПраТ «Оболонь», Жданівському та Новооржицькому цукрових заводах.

Випускники освітньо-професійної програми «Технології цукрів, полісахаридів і підготовки води у промислових та крафтових виробництвах» можуть виконувати наукову, освітню, аналітичну, експертну, консультативну, управлінську діяльність у сфері харчових технологій. Навчальним планом підготовки магістрів за новою редакцією освітньо-професійної програми «Технології цукрів, полісахаридів і підготовки води у промислових та крафтових виробництвах» (2024 р.) передбачено нормативні дисципліни та дисципліни за вибором здобувача:

***нормативні дисципліни:***

- Інтелектуальна та промислова власність
- Іноземна мова: практичні навички наукової комунікації
- Оптимізація та статистичні методи аналізу в харчових технологіях
  - Модуль 1. Оптимізація технологічних процесів виробництва цукрів, полісахаридів і підготовки води
  - Модуль 2. Статистично-графічні методи аналізу експериментальних даних
- Управління інноваційними проектами
- Науково-дослідницький практикум
- Інновації в технологіях цукрів, полісахаридів та підготовки води: промислове та крафтове виробництво, в т.ч. курсовий проект
- Менеджмент якості та безпечності цукрів, полісахаридів та фасованих питних вод, у т.ч. курсова робота
- Професійна практика
- Переддипломна практика
- Кваліфікаційна робота

### *дисципліни за вибором здобувача:*

- Дисципліна із загальноуніверситетського каталогу
- Дисципліна з каталогу спеціальності 181 "Харчові технології":
  - Експертиза та експрес-ідентифікація харчових продуктів
  - Ідентифікація продукції та методи виявлення фальсифікації
  - Біоактивні харчові компоненти і здоров'я
  - Біологічно активні речовини в харчових технологіях
  - Основні принципи фармаконутриціології в системі здорового харчування
- Дисципліни із каталогу освітньої програми:
  - Теоретичні і практичні аспекти виробництва гідроколоїдів вуглеводної природи
  - Технології мембранного очищення води у промислових та крафтових виробництвах
  - Наукові основи технологій виробництва цукристих речовин
  - Теоретичні аспекти підготовки питної води та води для харчових виробництв
  - Методологія наукових досліджень та академічна доброчесність
  - Оформлення результатів експерименту та наукова презентація
  - Управління ризиками підприємницької діяльності в сучасних умовах господарювання
  - Мікробіологічні та санітарно-гігієнічні аспекти виробництва цукрів, полісахаридів, фасованих питних вод
  - Промислові та крафтові технології у виробництві цукристих речовин.

Навчання студентів здійснюється у науково-дослідних лабораторіях кафедри, оснащених необхідних обладнанням для проведення лабораторних робіт та наукових досліджень. Наукова робота здобувачів проводиться за напрямками: робота студентів у гуртках "Цукор", "Вода"; участь у наукових конференціях; випробування наукових розробок студентів та молодих вчених у промислових умовах.

Наші стейкхолдери Оксана Бамбура, Юрій Андреев, Ярослав Барашовець, Роман Кирик, Дмитро Стрижак приймають активну участь в оснащенні лабораторій, проведенні гостьових лекцій, майстер-класів, розробленні та перегляді ОП, що є важливим кроком у становленні майбутніх фахівців.

За період 2023–2024 рр. для здобувачів кафедри проведено ряд гостьових лекцій та майстер-класів:

- Інноваційні крафтові технології виробництва цукрів, цукрових сиропів та напоїв (Грінєнко Ірина Григорівна, д.т.н., ст. наук. співр. Грушецький Роман Іванович, д.т.н., ст. наук. співр. Інститут продовольчих ресурсів НААН);

- Інноваційні технології: пектиновмісні порошки у виробництві ентеросорбентів (Войтко Олександр Васильович, заст. директора ТОВ "НВП "Технологіка");

- Впровадження інноваційних методів очистки води на підприємствах харчової галузі (Стрижак Дмитро Володимирович директор «Smart Water Group»);

- Стратегічне управління підприємством в контексті розвитку та підвищення якості продукції. Strategia w warunkach niepewności (Д-р Агнешка Дзюбінська Кафедра управління підприємством Uniwersytet Ekonomiczny w atowicach, Польща);

- Особливості управління якістю продукції бурякоцукрового виробництва на основі системи НАССР (Андреєва Анна Юріївна Агропромисловий холдинг «Астарт-Київ», ТОВ «Новооржицький цукровий завод», інженер з якості);

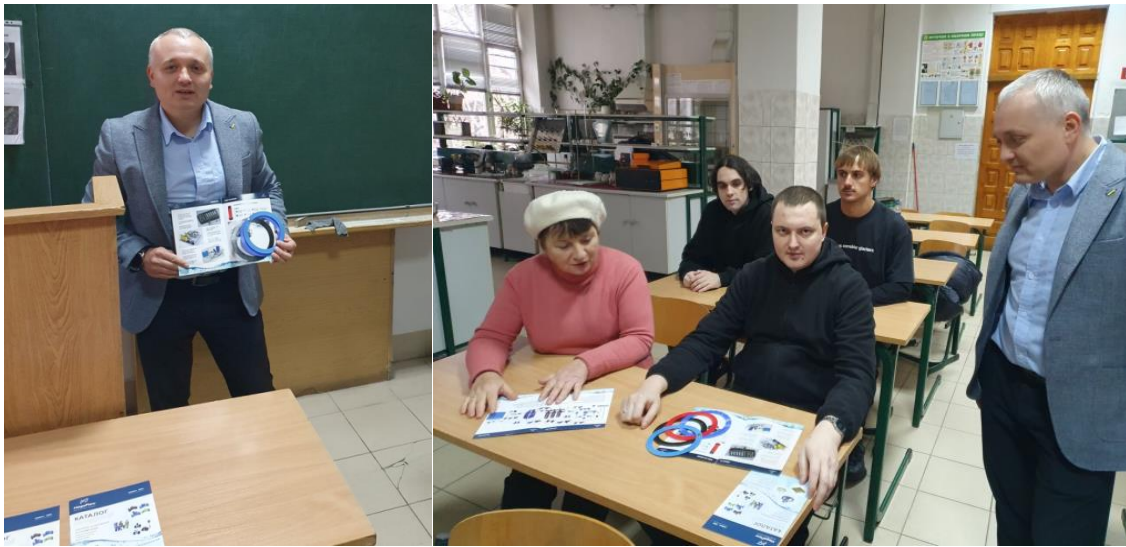
- Фільтрація води: дискові фільтри та інертний аморфний алюмосилікат (скло) (Директор ТОВ «Мегафлоу» Роман Кирик);

- Генеральний директор CSW Барашовець Ярослав Олександрович провів майстер-клас на теми: “Мембранні методи очищення води” та «Сучасні завантаження для очищення води»

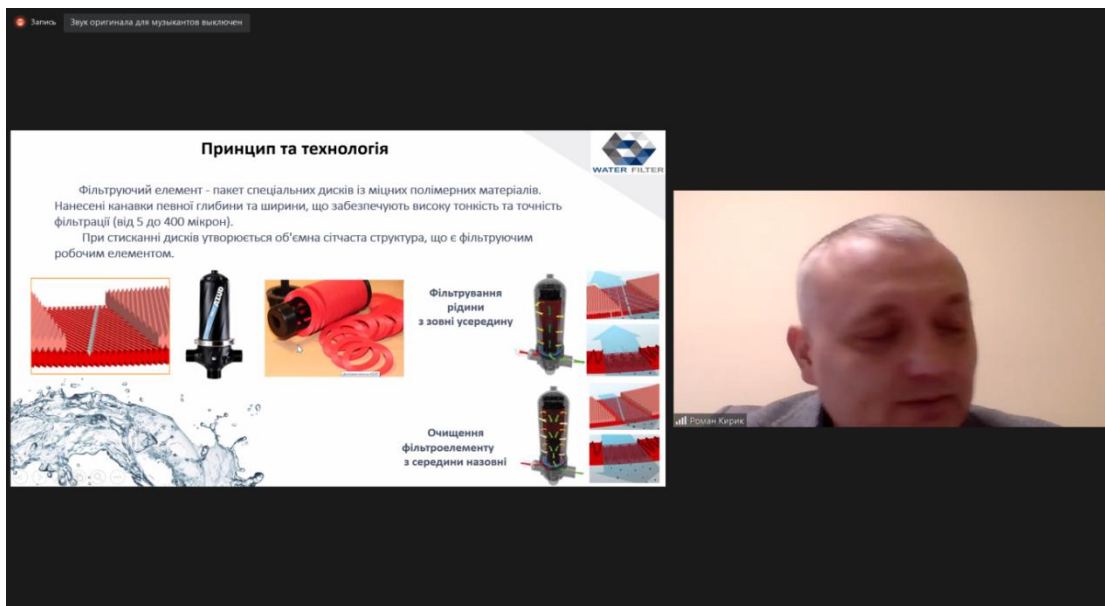


Навчально-наукова лабораторія водопідготовки





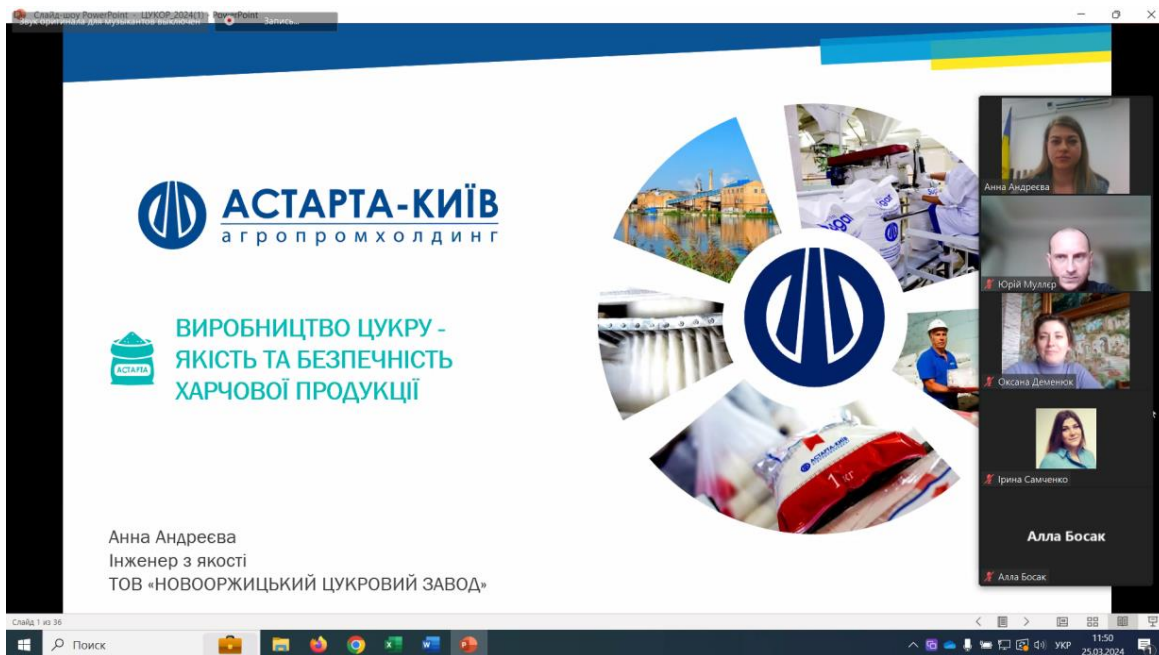
Директор ТОВ «Мегафлоу» Роман Кирик проводить гостьову лекцію в лабораторії кафедри (2024 р.)



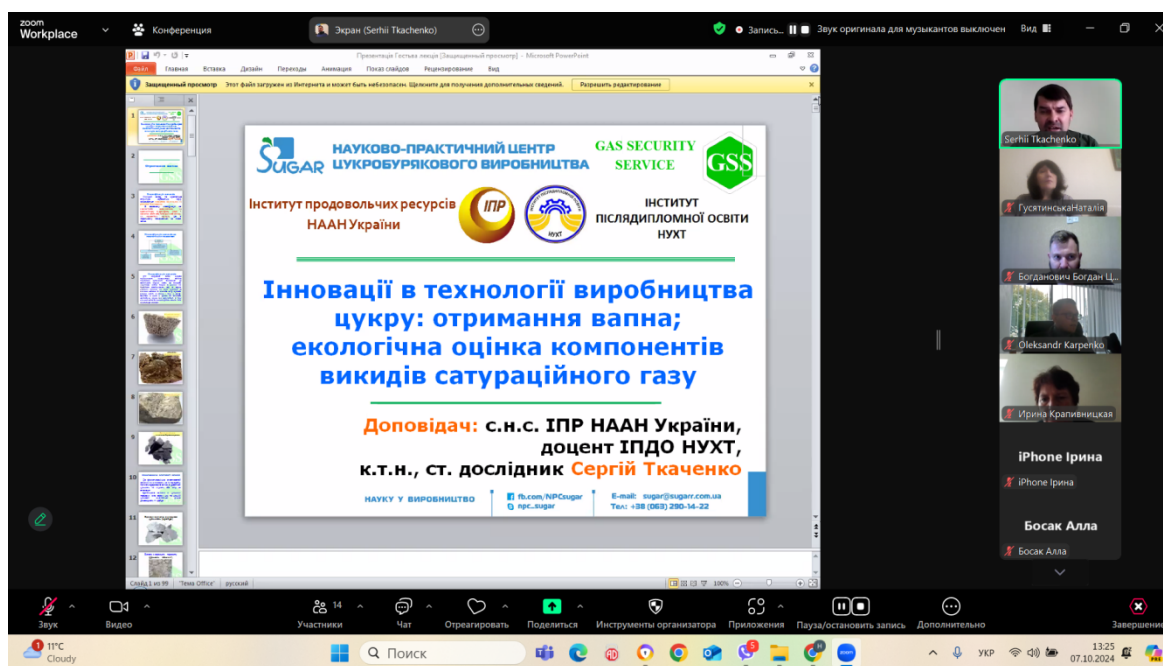
Гостьову он-лайн лекцію для здобувачів кафедри ТЦПВ проводить директор ТОВ «Мегафлоу» Роман Кирик (2024 р.)



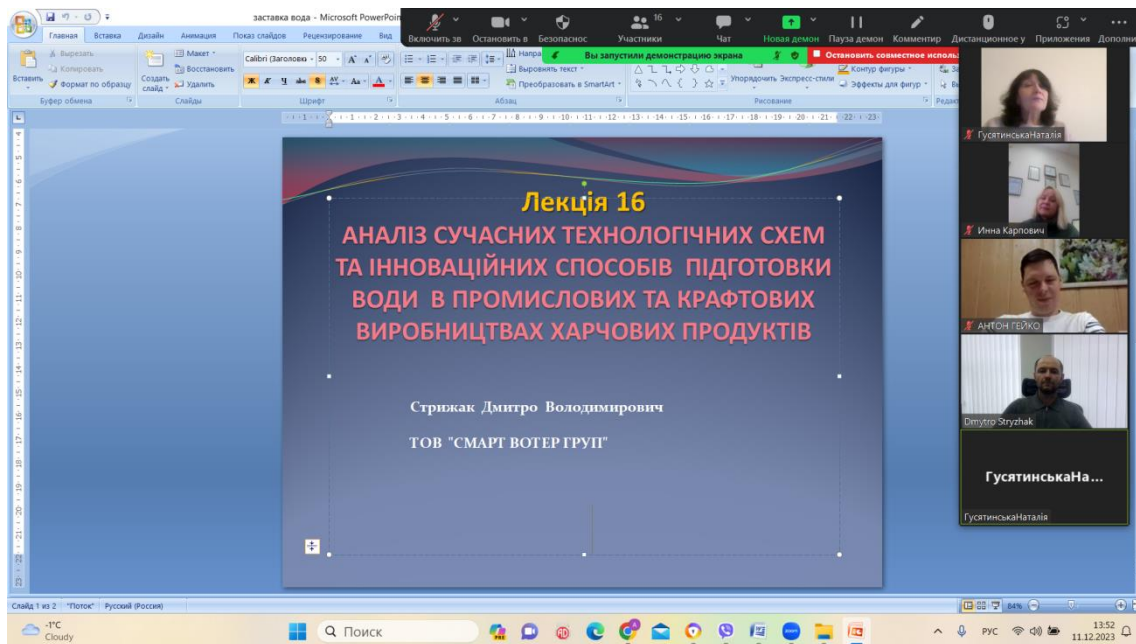
В лабораторії кафедри ген. директор CSW Барашовець Ярослав Олександрович проводить майстер-клас “Мембранні методи очищення води” та «Сучасні завантаження для очищення води» (2024 р.)



Гостьова лекція стейкхолдерів від ТОВ «Новооржицький цукровий завод»: інженер з якості Анна Андреева (випускниця НУХТ 2022 р.) (2024 р.)



Гостьова лекція науковців: с.н.с. ІПР НААН України, доцент ІПДО НУХТ Сергій Ткаченко (2024 р.)



Гостьова лекція для здобувачів: ген. директор ТОВ "СМАРТ ВОТЕР ГРУП" Дмитро Стрижак (2023 р.)



Гостьова лекція за участі доктора Агнешки Дзюбинської (dr Agnieszka Dziubińska) з Економічного університету м. Катовіце, Польща

Наукове видання

**V МІЖНАРОДНА НАУКОВО-ПРАКТИЧНА КОНФЕРЕНЦІЯ**

**«ПЕРСПЕКТИВИ МАЙБУТНЬОГО ТА РЕАЛІЇ СЬОГОДЕННЯ  
В ТЕХНОЛОГІЯХ ВОДОПІДГОТОВКИ»**

14 – 15 листопада 2024 р.

Відповідальна за випуск **Інна Карпович**

Комп'ютерна верстка **Світлана Починкова**

---

НУХТ.01601 Київ-33, вул. Володимирська, 68  
Свідоцтво про реєстрацію серія ДК № 1786 від 18.05.04 р.

---