



УДК 678.021:628.1

© 2012

Академік НАН України **В. В. Гончарук, О. С. Савлук,**
М. М. Саприкіна, А. В. Руденко

Технологія очистки води від мікроміцетів

*Розроблено нову конструкцію електрокоагуляційної комірки з інертним анодом. Встановлено раціональні робочі параметри електрокоагуляційної комірки, а саме: густину струму, площу електродів та сталевих пластин. Запропоновано технологічну схему очистки води від мікроміцетів, в основу якої покладено використання електрокоагуляційної комірки з інертним анодом, фільтраційне завантаження та УФ обробку води. Застосування даної технології забезпечує високий ступінь знезараження води від опортуністичних грибів родів *Candida* та *Aspergillus*.*

В усьому світі спостерігається заміна патогенного бактеріального компонента більш агресивним грибним, який вважають умовно-патогенним, не враховуючи та не припускаючи його потенційних агресивних можливостей. У зв'язку з різким збільшенням кількості хворих, що страждають від системних і локальних мікозів, цій проблемі приділяється велика увага щодо виявлення окремих видів мікроміцетів при оцінці інфекційної небезпеки навколишнього середовища [1]. Останнім часом все більше авторів присвячують свої роботи дослідженню мікроміцетів, продуктів їх життєдіяльності у воді та їх впливу на здоров'я людини і тварин [2–8]. Однак, незважаючи на небезпечність та поширення цієї групи мікроорганізмів, кількість робіт стосовно їх вилучення з води незначна.

Серед розглянутих нами раніше способів очистки та знезараження води від мікроміцетів ефективніший виявився метод коагуляції [9]. Однак при широкому використанні вказаного методу обробки води на станціях водопідготовки була встановлена наявність мікроміцетів у водопровідній воді, що надходить до споживача [10]. Тому виникає необхідність створення компактних установок з автоматичним керуванням, застосування яких дає змогу надходження води в пунктах споживання. Для спрощення процесу обслуговування таких об'єктів використано електрохімічний спосіб отримання коагулянта, в даному випадку використано сталевий матеріал анода. Утворення гідроксиду Fe^{3+} відбувається через стадію окиснення заліза (II). Відомо, що перехід Fe^{2+} у Fe^{3+} відбувається за допомогою різних окиснювачів.

Матеріал електродів багато в чому визначає кількість утворених електрохімічним способом окиснювальних агентів, здатних самостійно знезаражувати воду від мікроорганізмів. Проведено серію експериментів з порівняння ступеня знезараження води з використан-

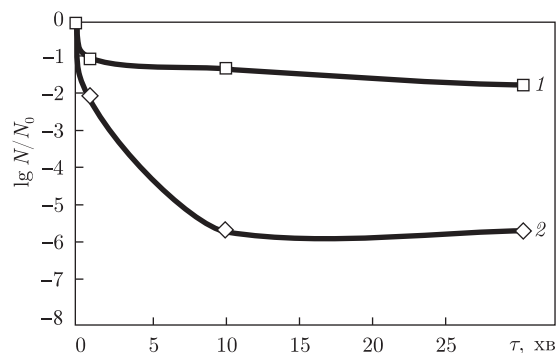


Рис. 1. Залежність ефективності очистки води від тривалості контакту суміші окиснювальних агентів електролізної комірки з клітинами мікроскопічних грибів: 1 — *Aspergillus niger*; 2 — *Candida albicans*

ням платиново-титанового (ПТА) та графітового анодів марки ТУ 48-20-12-87 на прикладі культури *Candida albicans*. Для виготовлення катода використано нержавіючу сталь марки 12-Х-18Н10Т.

Використання комірки, яка містить ПТА, є більш доцільним, так як забезпечує вищий фунгіцидний ефект у порівнянні з ефектом, отриманим для комірки з графітовим анодом, що, ймовірно, є результатом утворення більшої кількості окиснювальних агентів. Розроблено макетний зразок електролізної комірки з ПТА та встановлено основні параметри його роботи в проточному режимі при об'ємній швидкості від 1,5 до 6,0 дм³/год.

Продукти електролізу, що були отримані, мають високу антимікробну дію по відношенню до культури дріжджеподібного гриба *C. albicans*. Однак їх фунгіцидна дія значно послаблюється при наявності у воді міцеліальних грибів роду *Aspergillus* (рис. 1). Очевидно, що самостійне використання окисників при очистці води від мікроскопічних грибів є недоцільним, оскільки високі дози реагентів не забезпечують необхідного ступеня вилучення мікроорганізмів з води.

Проведено серію експериментів з поєднання електрокоагуляції з подальшим окисненням Fe²⁺, отриманого шляхом розчинення сталевого анода, продуктами електролізу, що утворюються на інертному аноді. Отримано результати, що свідчать про доцільність поєднання електрокоагуляції з подальшою обробкою води продуктами електролізу, утвореними на інертному аноді. Така комбінація методів дає змогу забезпечити високий ступінь вилучення мікроміцетів з води за рахунок практично повного переведення Fe²⁺ у Fe³⁺, а отже, швидкого утворення гідроксиду заліза, який прискорює седиментацію мікроскопічних клітин грибів. Враховуючи дані кількісного співвідношення Fe²⁺/Fe³⁺, площу платинового анода прийнято рівною 2,8 см² (2,0 × 1,4).

Таким чином, запропонована обробка води з поетапним внесенням реагентів дозволяє швидко отримувати коагулянт заліза з подальшим його вилученням при фільтруванні крізь паперові фільтри.

З метою зменшення габаритних розмірів та ваги за рахунок виключення поетапних етапів внесення реагентів та скорочення кількості джерел живлення нами запропоновано нову конструкцію електрокоагуляційної комірки, яка містить платиновий анод та катод з нержавіючої сталі. Причому використано металеві, а саме сталеві, пластини (сталь-3), що розміщено в одній площині з платиновим анодом. Підведення струму відбувалося до інертного анода, а залізний коагулянт отримано за рахунок розчинення металевих пластин в утвореному електричному полі платинового анода та катода з нержавіючої сталі, а також

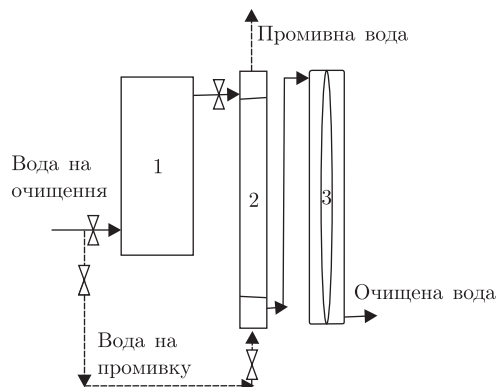


Рис. 2. Принципова технологічна апаратурна схема очистки води: 1 — вдосконала конструкція апарата з отримання коагулянта; 2 — фільтр-АГ; 3 — апарат УФ-випромінення

за рахунок часткового їх хімічного розчинення продуктами електролізу, що утворюються на інертному аноді [11].

Згідно з попередніми результатами, обрано оптимальну концентрацію коагулянта для очистки води від мікроміцетів, яка становить близько 5 мг/дм^3 у перерахунку на Fe_2O_3 . Встановлено ряд технологічних параметрів роботи електрокоагуляційної комірки, при яких досягається високий ступінь очистки води від мікроміцетів. Так, об'ємна витрата води становить $1,5 \text{ дм}^3/\text{год}$, густина струму — 21 мА/см^2 , площа поверхонь сталевих пластин та платиного анода дорівнює 3 см^2 й $2,8 \text{ см}^2$ відповідно, напруга на електродах — $9,9 \text{ В}$, питома витрата електроенергії становить $0,4 \text{ кВт} \cdot \text{год/м}^3$, витрата іонів заліза при цьому — $4,9 \text{ мг/год}$. Розміри залізних пластин (2 шт.) електрокоагулятора прийнято $2,0 \times 0,75$.

Оскільки в процесі роботи електрокоагуляційної комірки утворюється гідроксид заліза з абсорбованими клітинами мікроміцетів, важливо підібрати ефективний фільтр для їх видалення. На сьогодні з метою високоефективної очистки води від заліза (III) використовують гранульований силікат алюмінію (фільтр-АГ), який має ряд переваг у порівнянні з іншими завантаженнями.

Встановлено, що самостійне використання фільтра-АГ практично не затримує клітини мікроскопічних грибів. Тож цей фільтруючий матеріал (з заданою об'ємною швидкістю фільтрування) не може бути використаний як самостійний спосіб видалення мікроміцетів, оскільки у відфільтровану воду надходить майже вихідна кількість мікроміцетів.

Запропоновано технологічну схему очистки води від мікроміцетів, яка включає: електрокоагуляційну обробку води в комірці з ПТА з подальшим фільтруванням крізь гранульований силікат алюмінію (фільтр-АГ). Така схема також може містити вузол контрольного знезараження води УФ-випромінюванням (рис. 2). Для оцінки ефективності запропонованої схеми проведено серію експериментів з порівняння результатів по видаленню культур дріжджеподібних грибів *C. albicans* та міцеліальних грибів *Aspergillus niger* в удосконаленій електрокоагуляційній комірці, електролізній комірці, що не містить сталевих пластин, а також методом об'ємної коагуляції з використанням $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$, з подальшим їх фільтруванням крізь зернисте завантаження при об'ємній швидкості фільтрування $3 \text{ дм}^3/\text{год}$. Експериментально доведено, що використання вдосконаленого електрокоагуляційного апарата, що містить ПТА, з подальшим фільтруванням крізь зернисте завантаження філь-

тра-AG (див. рис. 2), дає змогу скоротити час отримання гідроксиду заліза та підвищити ступінь видалення мікроскопічних грибів з води.

На підставі отриманих даних розроблено апарат (установку) для видалення з води мікророміцетів, який отримав назву УОК-М (установка з отримання коагулянта для очистки води від мікророміцетів). Апарат УОК-М — пристрій переносного типу, що працює в проточно-напірному режимі, загальною вагою 1,5 кг, складається з корпусу розмірами 180 × 170 × 80 мм та шнура з штепсельною вилкою для підключення до джерела живлення напругою 220 В. На передній стінці апарата знаходяться патрубки для входу та виходу води, яка піддається обробці. На бічній стінці апарата є ручка регулювання струму, що подається. У корпусі апарата змонтовано електрокоагуляційну комірку для отримання коагулянта та блок стабілізації струму, з допомогою якого здійснюється живлення апарата в заданому режимі.

Основним показником ефективності роботи апарата УОК-М є надійність видалення мікророміцетів з води. З цією метою оцінку ефективності апарата проводили з використанням культур дріжджеподібного гриба *C. albicans* та міцеліального гриба *A. niger*. Ефективність очистки води демонструє табл. 1. З отриманих даних видно, що при проходженні води (з вихідним зараженням $1,2 \cdot 10^5$ КУО/см³ культурою *C. albicans*) крізь апарат УОК-М та фільтр-AG вже за 5 хв рівень контамінації води знижується на чотири порядки, а за 60 хв досягається повна її очистка. У випадку меншої кількості вихідного навантаження води культурою *C. albicans* спостерігається зменшення часу, необхідного для повної очистки. Так, при концентрації $1,8 \cdot 10^4$ КУО/см³ вже за 5 хв відбувається практично повне видалення культури з води.

При очистці води, забрудненої культурою *A. niger* ($1,4 \cdot 10^5$ КУО/см³), шляхом електрокоагуляційної обробки води з подальшим її фільтруванням крізь фільтр-AG, спостерігається вилучення 99,99% клітин культури вже за 5 хв роботи технологічної схеми, повна очистка води від мікророміцетів спостерігається за 60 хв. При пропусканні води, забрудненої культурою *A. niger*, у концентрації $1,4 \cdot 10^4$ КУО/см³ крізь електрокоагуляційну комірку та зернисте завантаження фільтра-AG вже за 5 хв роботи апарата відбувається практично повне видалення мікроскопічного гриба *A. niger* з води (див. табл. 1). Промивні води, що утворилися після роботи фільтра, необхідно знезаражувати термічно в автоклаві.

Таким чином, запропонована технологія очистки води від мікророміцетів, що включає послідовне пропускання її крізь електрокоагуляційний апарат УОК-М з інертним анодом та фільтруюче зернисте завантаження — фільтр-AG, дає змогу очистити воду від цієї групи мікроорганізмів і може бути впроваджена у виробництво. Крім того, важливо відзначити, що запропонована конструкція може бути покладена в основу розробки нових установок з знезараження води від широкого спектра мікроорганізмів, включаючи віруси.

Таблиця 1. Ефективність очистки води від мікророміцетів з використанням запропонованої технологічної схеми

Культура	Вихідна концентрація, КУО/см ³	Вміст культури у воді після очистки, КУО/см ³	
		через 5 хв	через 60 хв
<i>Candida albicans</i>	$1,8 \cdot 10^4$	1	0
	$1,2 \cdot 10^5$	12	0
<i>Aspergillus niger</i>	$1,1 \cdot 10^3$	0	0
	$1,6 \cdot 10^4$	8	0
	$1,4 \cdot 10^5$	75	2

1. Гончарук В. В., Руденко А. В., Савлук О. С. и др. Проблема инфицирования воды возбудителями микозов и перспективы ее решения // Химия и технология воды. – 2004. – **26**, № 2. – С. 120–144.
2. Gray M. Molds and mycotoxins: beyond allergies and asthma // Altern. Ther. Health Med. – 2007. – **13**, No 2. – P. 146–152.
3. Mazur L. J., Kim J. Spectrum of noninfectious health effects from molds // Pediatrics. – 2006. – **118**, No 6. – P. 1909–1926.
4. Etzel R. A. What the primary care pediatrician should know about syndromes associated with exposures to mycotoxin // Curr. Probl. Pediatr. Adol. Health Care. – 2006. – **36**, No 8. – P. 282–305.
5. Yu J., Cleveland T. E., Nierman W. C., Bennett J. W. Aspergillus flavus genomics: gateway to human and animal health, food safety, and crop resistance to diseases // Rev. Iberoamer. Micol. – 2005. – **22**. – P. 194–202.
6. Pitt J. I., Hocking A. D. Mycotoxins in Australia: biocontrol of aflatoxin in peanuts // Mycopathologia. – 2006. – **162**, No 3. – P. 233–243.
7. Wood G. E. Mycotoxins in foods and feeds in the United States // J. Anim. Sci. – 1992. – **70**, No 12. – P. 3941–3949.
8. Смирнов В. В., Зайченко А. М., Рубежнюк И. Г. Микотоксины: фундаментальные и прикладные // Совр. пробл. токсикологии. – 2000. – № 1. – С. 5–12.
9. Гончарук В. В., Руденко А. В., Савлук О. С. та ін. Мікроміцети в питній воді та шляхи її знезараження // Доп. НАН України. – 2008. – № 11. – С. 187–191.
10. Гончарук В. В., Руденко А. В., Коваль Э. З. та ін. Мікроміцети в питній воді // Вісн. НАН України. – 2007. – № 12. – С. 21–24.
11. Пат. 95857 Україна. МПК¹¹ С 02 F 1/463. Электрокоагулятор для очистки воды / В. В. Гончарук, А. В. Руденко, О. С. Савлук, М. М. Саприкина. – Заяв. № а 2010 03562; Опубл. 12.09.2011; Бюл. № 17.

Інститут колоїдної хімії та хімії води
ім. А. В. Думанського НАН України, Київ
Інститут урології АМН України, Київ

Надійшло до редакції 02.03.2012

Академик НАН України **В. В. Гончарук, О. С. Савлук, М. Н. Саприкина, А. В. Руденко**

Технология очистки воды от микромицетов

*Разработана новая конструкция электрокоагуляционной ячейки с инертным анодом. Определены рациональные рабочие параметры электрокоагуляционной ячейки, а именно: плотность тока, площадь электродов и стальных пластин. Предложена технологическая схема очистки воды от микромицетов, которая состоит из электрокоагуляционной ячейки с инертным анодом, фильтрационной загрузки и УФ обработки воды. Использование данной технологии обеспечивает высокую степень обеззараживания воды от оппортунистических грибов родов *Candida* и *Aspergillus*.*

Academician of the NAS of the Ukraine **V. V. Goncharuk, O. S. Savluk, M. N. Saprykina, A. V. Rudenko**

A technology of water purification from microscopic fungi

*The new design of an electrocoagulation cell with inert anode is developed. Optimal operation parameters of the electrocoagulation cell (density of a current, and areas of electrodes and steel plates) are determined. The technological scheme of microscopic fungi removal from water is offered. This scheme consists from electrocoagulation cell, filtrational loading, and UV treatment. The use of the given technology provides a high degree of water disinfection from the opportunistic fungi *Candida* and *Aspergillus*.*