

13. Zhydenko, A. A. (2009). Morfofiziologichni adaptacii riznovikovich grup *Cyprinus carpio* L. za nespriyatlivoi dii ekologichnih faktoriv [Morpho-physiological adaptations of

uneven-aged *Cyprinus carpio* L. groups under adverse influence of ecological factors]. I. I. Mechnikov National University, Odessa, 40.

Дата надходження рукопису 23.09.2015

**Бибчук Екатерина Вячеславовна**, асистент, кафедра биологических основ физического воспитания, здоровья и спорта, Черниговский национальный педагогический университет им. Т. Г. Шевченко, ул. Гетмана Полуботка, 53, г. Чернигов, Украина, 14013  
E-mail: bibchuk@ukr.net

**Жиденко Алла Александровна**, доктор биологических наук, профессор, заведующая кафедрой, кафедра биологических основ физического воспитания, здоровья и спорта, Черниговский национальный педагогический университет им. Т. Г. Шевченко, ул. Гетмана Полуботка, 53, г. Чернигов, Украина, 14013

УДК 579.695

DOI: 10.15587/2313-8416.2015.51665

## БИОЛОГИЧНИЙ СПОСІБ ОЧИЩЕННЯ ВОДИ ВІД ЦИНКУ (II)

© О. Г. Горшкова, О. В. Волювач

*Експериментально підтверджена висока ефективність біотехнології очищення води від цинку (II) з використанням іммобілізованих у складі біофлор клітин бактерій роду *Pseudomonas*: *P. fluorescens* ONU328, *P. maltophilia* ONU329, *P. seracia* ONU327. Ступінь очищення води від цинку (II) за обробки біофлорами із *P. maltophilia* сягав 99,9 % при вихідній концентрації металу 20 мг/дм<sup>3</sup>*

**Ключові слова:** очищення води, цинк (II), біотехнологія, бактерії роду *Pseudomonas*, іммобілізовані, не-патогенні, поліфункціональні

*It is experimentally confirmed the high efficiency of biotechnology of water purification from zinc (II) using bacterial cells of the genus *Pseudomonas*: *P. fluorescens* ONU328, ONU329 *P. maltophilia*, *P. cepacia* ONU327 that immobilized in the biofloc structure. The degree of water purification from zinc (II) in the processing of the bioflocks of *P. maltophilia* reached 99,9% at initial metal concentration 20 mg/dm<sup>3</sup>*

**Keywords:** water purification, zinc (II), biotechnology, bacteria of the genus *Pseudomonas*, immobilized, non-pathogenic, polyfunctional

### 1. Вступ

Гальванічне виробництво залишається найбільшим джерелом забруднення навколишнього середовища високотоксичними іонами важких металів (ІВМ), зокрема іонами цинку, і могутнім споживачем води.

### 2. Постановка проблеми

Цинкування – один із розповсюджених процесів у гальванічному виробництві. Його використовують для захисту від корозії різних сталевих і чавунних деталей, підводних споруд, при виробництві труб.

Водорозчинні сполуки цинку становлять велику загрозу для екосистем. Навіть при малих концентраціях (0,001 г/дм<sup>3</sup>) Zn (II) гальмує розвиток, а при більших – 0,004 г/дм<sup>3</sup> спричиняє токсичну дію на водну фауну [1]. Гранично-допустима концентрація (ГДК) іонів цинку у воді для скидання її у водні об'єкти побутово-питного і культурно-побутового водопостачання складає 1,0 мг/дм<sup>3</sup>, тоді як вміст рухливого цинку у стічних водах гальванічних цехів складає 60–80 мг/дм<sup>3</sup>. Тому очищення технологічних цинковмісних водних розчинів і виробничих стічних вод від рухливого цинку являє собою складне, але водночас важливе науково-технічне та екологічне завдання.

### 3. Літературний огляд

Очищення води від ІВМ, зокрема від Zn (II), може бути проведено хімічним, фізико-хімічним, електрохімічним способами. Вони дорогі, громіздкі та не завжди забезпечують високий рівень очищення [2, 3].

Не дивлячись на те, що за способом хімічного осаджування катіонів важких металів у формі їх малорозчинних сульфідів [2] ступінь вилучення сягає 99,8–99,9 %, практичне використання способу стримується через токсичність сірководню, що виділяється в атмосферу.

Спосіб флотаційного вилучення Zn (II) із водних розчинів у вигляді осадів (наприклад, алкілкарбонатів цинку) є енергозалежним і потребує наявності громіздких флотаційних машин та відстійників, де відбувається руйнування зібраного пінного продукту [3]. Недоліками способу [3] також є: використання як органічного осаджувача іонів цинку аніонних ПАВ (мила); необхідність частого приготування свіжих порцій відповідного мила у зв'язку із швидким старінням; необхідність регулювання значень рН середовища і оптимальної витрати реагенту; вода не очищується до норм ГДК.

Підвищення вимог до якості води та допустимих концентрацій забруднень в промислових стічних

водах, які скидаються у водойми, змушує шукати екологічно чисті та економічно вигідні способи видалення з них ІВМ. До таких способів, які успішно застосовуються для рішення цієї проблеми і є достатньо ефективними, можна віднести сорбцію на природних глинистих сорбентах (бентоніт, монтморилоніт) та сорбцію (акумуляцію) мікроорганізмами. Останнім часом перевага надається біологічному очищенню води від ІВМ, де головну роль відіграють різні мікроорганізми – бактерії, дріжджі. Відомий спосіб мікробіологічної очистки стічних вод промислових підприємств від іонів важких металів: цинку, кадмію і свинцю [4], згідно якого мікробіологічну очистку стічних вод здійснюють шляхом використання як мікробіологічного реагенту бактерій *Rhodococcus ruber*. При вихідній концентрації цинку (ІІ) 0,5–2,5 мг/дм<sup>3</sup> залишкова його концентрація за вказаної обробки води шістьма штамами бактерій, що належать до умовно патогенних, вище ГДК.

**4. Біологічний спосіб очищення води від цинку (ІІ) за присутності непатогенних штамів бактерій роду *Pseudomonas fluorescens* ONU328, *Pseudomonas maltophilia* ONU329, *Pseudomonas ceracia* ONU327**

Мета даної роботи – розробка способу глибокого очищення водних розчинів від Zn (ІІ) з використанням непатогенних мікробіологічних реагентів поліфункціональної дії і екобезпечних хімічних реагентів до концентрації, що відповідає його гранично-допустимій концентрації для скидання в каналізацію.

Як мікробіологічні реагенти використовували суспензії непатогенних, резистентних щодо високих концентрацій іонів кадмію і свинцю [5], штамів бактерій роду *Pseudomonas*: *P. fluorescens* ONU328, *P. maltophilia* ONU329 (виділені з морської води), *P. ceracia* ONU327 (виділений з ґрунту) та їх асоціа-

цію, що знаходяться на збереженні в музейній колекції мікроорганізмів кафедри мікробіології, вірусології та біотехнології ОНУ імені І. І. Мечникова.

Біотехнологія очищення води від Zn (ІІ) містила наступні етапи. Забруднену Zn (ІІ) та різними механічними домішками воду направляли спочатку у відстійник, де контролювали температуру і доводили рН до нейтрального, далі – у флотаційну камеру, де у присутності флотаційного збирача (мила лужного металу) проводили очищення води від іонів цинку до концентрації  $C \leq 20$  мг/дм<sup>3</sup>. Потім воду спрямовували у ємність, до якої підводили інкулятор, заповнений бактеріальною суспензією, та дозатори розчинів перекису водню і хлориду кальцію. Через 10–15 хв після введення мікробіологічного реагенту дозатором вводили перекис водню та хлорид кальцію. Акумуляція важкого металу іммобілізованими у складі біофлокул бактеріями тривала 15–20 хв. Очищення води від Zn (ІІ) відбувалось дуже ефективно – на виході залишкова концентрація Zn (ІІ) була нижче ГДК.

Культуру бактерій нарощували у пептонно-дріжджовому середовищі М-9 із додаванням глюкози. Нарощування біомаси здійснювали при рН 7,0–7,2 і температурі 28 °С протягом 48 годин до досягнення щільності культури не менш 5 г/дм<sup>3</sup> по сухій біомасі, після чого культуру змішували із забрудненою іонами цинку водою в об'ємному співвідношенні 1:1. Концентрацію Zn (ІІ) у розчинах визначали методом електротермічної атомно-абсорбційним спектрофотометрії з використанням приладу «Сатурн-2» у полум'ї суміші «повітря – пропан – бутан». Результати досліджень оброблювали статистично з використанням програми «SPSS 19 для Windows».

Результати очищення води від Zn (ІІ) вільними та іммобілізованими за присутності перекису водню і хлориду кальцію клітинами бактерій роду *Pseudomonas* представлені в табл. 1.

Таблиця 1

Результати очищення водних розчинів від Zn (ІІ) за присутності вільних та іммобілізованих бактерій роду *Pseudomonas*

Штам	Залишкова концентрація Zn (ІІ), мг/дм <sup>3</sup>	Ступінь очищення води від Zn (ІІ), %
<i>Вільні клітини бактерій роду Pseudomonas</i>		
<i>P. fluorescens</i> ONU328	9,3±0,80	54,0
<i>P. maltophilia</i> ONU329	12,2±1,20	39,0
<i>P. ceracia</i> ONU327	3,2±0,50	84,0
Асоціація (1:1:1)	11,0±1,20	45,0
<i>Іммобілізовані клітини бактерій роду Pseudomonas</i>		
<i>P. fluorescens</i> ONU328	0,08±0,004	99,6
<i>P. maltophilia</i> ONU329	0,03±0,005	99,9
<i>P. ceracia</i> ONU327	1,0±0,12	95,0
Асоціація (1:1:1)	0,5±0,07	98,0

Примітка: вихідна концентрація Zn (ІІ) у воді – 20 мг/дм<sup>3</sup>

Із експериментальних даних (див. таблицю 1) видно: використані мікроорганізми є Zn-резистентними. За відсутності хімічних реагентів агрегація бактерій протікала за 60–90 хв і відбувалась під дією полісахаридних комплексів клітинної стінки. Ступінь очищення води від Zn (ІІ) вільними клітинами бактерій *P. fluorescens* ONU328, *P. maltophilia* ONU329 та асоціацією *P. fluorescens* ONU328 : *P. maltophilia*

ONU329 : *P. ceracia* ONU327 змінювався від 39 до 54 %. При використанні *P. ceracia* ONU327 концентрація Zn (ІІ) у воді зменшувалась з 20 мг/дм<sup>3</sup> до 3,2±0,50 мг/дм<sup>3</sup> (ступінь вилучення 84,0 %).

Використання бактерій роду *Pseudomonas* у іммобілізованому стані – у складі біофлокул дозволило суттєво підвищити ефективність очищення води від цинку (ІІ) до 95,0–99,9 %. Перекис водню і хлорид ка-

льцію сприяли утворенню біофлоків і пришвидшували процес (до 20–30 хв) очищення води. Максимальний ступінь очищення води від Zn (II) 99,9 % (при залишковій концентрації у воді  $0,03 \pm 0,005$  мг/дм<sup>3</sup>) спостерігався при використанні іммобілізованих клітин бактерій *P. maltophilia* ONU329.

### 5. Апробація результатів досліджень

Біологічний спосіб очищення води від цинку (II) пройшов успішні лабораторні випробування при обробці стічної води одного із гальванічних цехів та електростанції. Спосіб ефективний за присутності у воді нафтопродуктів [6] і екологічно безпечний для людини і навколишнього середовища через використання іммобілізованих у складі біофлокул клітин непатогенних бактерій *P. fluorescens* ONU328, *P. maltophilia* ONU329, *P. ceracia* ONU327 з поліфункціональною дією [5–7].

### 6. Висновки

Перевагами розробленого способу в порівнянні з [4] є: значне збільшення вихідної концентрації іонів цинку з 0,5–2,5 мг/дм<sup>3</sup> до 20 мг/дм<sup>3</sup>; зменшення кількості штамів мікроорганізмів з шості до одного непатогенного; зменшення часу на приготування бактеріальної суспензії при досягненні необхідної глибини очищення технологічних водних розчинів від іонів цинку до рівня ГДК, що дозволяє повторно використовувати очищену воду у замкнутому водопостачанні або скидати її у каналізацію. Спосіб є енергонезалежним, простим в здійсненні і екологічно безпечним.

### Література

1. Бингам, Ф. Т. Некоторые вопросы токсичности ионов металлов [Текст] / Ф. Т. Бингам, Ф. Д. Пра, У. М. Джерелл; под ред. Х. Зигель, А. М. Зигель. – М.: Мир, 1993. – 230 с.
2. Фишман, Г. И. Водоснабжение и очистка сточных вод предприятий химических волокон [Текст] / Г. И. Фишман, А. Д. Литник. – М.: Химия, 1971. – 160 с.
3. Сінькова, Л. О. Вплив часу старіння колоїдних розчинів мил цинку на деякі властивості [Текст] / Л. О. Сінькова // Вісник ОНУ. Серія "Хімія". – 2001. – Т. 6, Вип. 5. – С. 107–111.
4. Патент Российской Федерации на изобретение № 2216525. Способ микробиологической очистки сточных вод промышленных предприятий от ионов тяжелых металлов: цинка, кадмия и свинца [Текст] / Соловых Г. Н., Уша-

кова Е. И., Ившина И. Б., Раимова Е. К. – патентовладелец: Оренбургская государственная медицинская академия. – Оpubл.: 20.11.2003. Бюл. № 26, 2003.

5. Патент України на корисну модель №76922. Біосорбційний спосіб очистки води від іонів свинцю [Текст] / Іваниця В. О., Гудзенко Т. В., Волювач О. В., Беляєва Т. О., Конуп І. П., Баранов О. О. – Оpubл.: 25.01.13. Бюл. № 2, 2013.

6. Гудзенко, Т. В. Нафтоокиснювальна активність деяких штамів бактерій роду *Pseudomonas* [Текст] / Т. В. Гудзенко, О. В. Волювач, Т. О. Беляєва, І. В. Пузирьова, Г. В. Лісютін, О. Г. Горшкова, В. О. Іваниця // Мікробіологія і біотехнологія. – 2013. – № 4. – С. 72–80.

7. Гудзенко, Т. В. Видалення бромиду гексадецилпиридинію із водних розчинів з бактеріями роду *Pseudomonas* за їх взаємодії з глинистим мінералом та хітозаном [Текст] / Т. В. Гудзенко, О. В. Волювач, Т. О. Беляєва, О. Г. Горшкова, І. В. Пузирьова, В. О. Іваниця // Мікробіологія і біотехнологія. – 2014. – № 1 (25). – С. 72–78.

### References

1. Bingham, F. T., Pra, F. D., Jarell, W. M.; Siegel, H., Siegel, A. M. (Eds.) (1993). Some problems of the toxicity of metal ions. Moscow: World, 230.
2. Fishman, G. I., Gate, A. D. (1971). Water supply and sewage treatment of chemical fiber enterprises. Moscow: Chemistry, 160.
3. Sinkova, L. A. (2001). The Influence of time of aging of colloidal solutions of Soaps of zinc on some properties. Bulletin of the ONU. Series of "Chemistry", 6, (5), 107–111.
4. Solovych, G. N., Ushakova, E. I., Iwshina, I. B., Raimova, E. K. (2003). Patent of Russian Federation patent for the invention № 2216525. Method for microbiological treatment of wastewater of industrial enterprises from ions of heavy metals: zinc, cadmium and lead. With. Publ.: 20.11.2003. bull. № 26, 2003.
5. Ivanytsia, V. O., Gudzenko, T. V., Voliuvach, O. V., Beliaeva, T. O., Konup, I. P., Baranov, O. O. (2013). Patent of Ukraine for usefulto model № 76922. Biosorption method of water purification from ions of lead. With. Publ.: 25.01.13, bull. № 2, 2013.
6. Gudzenko, T. V., Voliuvach, O. V., Beliaeva, T. O., Konup, I. P., Bukhtiarov, A. E., Lisiutin, G. V., Puzyreva, I. V., Gorshkova, O. G., Ivanytsia, V. O. (2013). Oil oxidative activity of some strains of bacteria of *Pseudomonas* genus. Microbiology&Biotechnology, 4, 72–80.
7. Gudzenko, T. V., Voliuvach, O. V., Beliaeva, T. O., Gorshkova, O. G., Puzyreva, I. V., Ivanytsia, V. O. (2014). Remove of hexadecylpyridinium bromide from aqueous solutions by bacteria of the genus *Pseudomonas* in their interaction with clay mineral and chitosan. Microbiology&Biotechnology, 1 (25), 72–78.

Рекомендовано до публікації д-р біол. наук Філіпова Т. О.  
Дата надходження рукопису 16.09.2015

**Горшкова Олена Георгіївна**, молодший науковий співробітник, кафедра мікробіології, вірусології та біотехнології, Одеський національний університет ім. І. І. Мечникова, вул. Дворянська, 2, м. Одеса, Україна, 65082  
E-mail: elena-good@bk.ru

**Волювач Ольга Вячеславівна**, кандидат хімічних наук, старший науковий співробітник, кафедра мікробіології, вірусології та біотехнології, Одеський національний університет ім. І. І. Мечникова, вул. Дворянська, 2, м. Одеса, Україна, 65082  
E-mail: voluvach@ukr.net