

УДК 579.695

**О. Г. Горшкова, Т. В. Гудзенко, О. В. Волювач,
І. П. Конуп, Т. О. Беляєва**

Одеський національний університет імені І. І. Мечникова,
вул. Дворянська, 2, Одеса, 65082, Україна; тел.: +38 (068) 259 33 08,
e-mail: tgudzenko@ukr.net

ОЧИЩЕННЯ ВОДИ ВІД ФЕНОЛУ ТА ЙОНІВ ВАЖКИХ МЕТАЛІВ АСОЦІАЦІЄЮ БАКТЕРІЙ РОДУ *PSEUDOMONAS*

Мета. Очищення води від фенолу та йонів важких металів з використанням бактерій роду *Pseudomonas*. **Методи.** Ефективність мікробного очищення оцінено за ступенем вилучення із води циклічних ароматичних сполук - фенолу і важких металів [Pb (II), Cd(II), Zn (II)]. Концентрацію фенолу визначали екстракційно-фотометричним методом з використанням 4-аміноантпірину; важких металів - атомно-абсорбційним методом на полум'яному атомно-абсорбційному спектрофотометрі "Сатурн" в полум'ї суміші "повітря - пропан - бутан". **Результати.** Для очищення води від фенолу і йонів важких металів використано штами *P. fluorescens* ONU328, *P. maltophilia* ONU329, *P. serasia* ONU327. Встановлено, що за дії окремих штамів мікроорганізмів у кількості $7,5 \times 10^5$ КУО/мл протягом 18–22 діб (залежно від обраного штаму) відбувається повне знефенолення водних розчинів. При використанні асоціації штамів *P. fluorescens* ONU328, *P. maltophilia* ONU329, *P. serasia* ONU327 (1:1:1 в об'ємному співвідношенні) час глибокого очищення води від фенолу з вихідною концентрацією у воді 300 мг/дм³ скорочується до 10 діб. Ступінь вилучення Pb(II), Cd(II), Zn(II) із концентрованих розчинів окремими штамами мікроорганізмів у складі біофлорів сягав 95,00–99,95% при залишковому вмісті йонів важких металів у розчині (0,03–1,0) мг/дм³. Використання асоціації штамів *P. fluorescens* ONU328, *P. maltophilia* ONU329, *P. serasia* ONU327 забезпечує найбільшу ефективність очищення води від катіонів важких металів. За обробки металовмісних розчинів іммобілізованими у складі біофлор клітинами бактеріальної асоціації залишкова концентрація Pb (II), Cd (II), Zn (II) складає $0,03 \pm 0,001$, $0,02 \pm 0,001$ і $0,03 \pm 0,004$ мг/дм³ відповідно, що не перевищує гранично-допустимої їх концентрації в очищених водах для скидання у каналізацію. **Висновок.** Використані штами бактерій роду *Pseudomonas* характеризуються поліфункціональним потенціалом біотехнологічного призначення – деструктивним щодо фенолу та сорбційно-акумулювальним щодо йонів важких металів, що розкриває перспективи їх використання в комплексній біотехнології очищення навколишнього середовища від полютантів різної природи.

Ключові слова: мікробне очищення води, фенол, йони важких металів, асоціація бактерій роду *Pseudomonas*.



Скидання стічних вод медичних закладів, виробництва фармацевтичних препаратів, гірничопромислових комплексів призводить до забруднення поверхневих водних об'єктів різними токсичними хімічними забруднювачами: фенольними сполуками, йонами важких металів тощо [3, 8]. Фенольні сполуки, а також йони важких металів Pb, Cd, Ni, Zn тощо, які надходять у навколишнє середовище із шахтними водами і стоками рудозбагачувальних фабрик, відносяться до токсичних забруднювачів [2, 10]. Відомо, що йони важких металів становлять реальну небезпеку для здоров'я людини і стають істотною перешкодою у життєдіяльності більшості мікробіонтів [1, 6].

Тому на сьогоднішній день основною екологічною проблемою є впровадження сучасних ефективних методів очищення техногенно небезпечних стоків; зниження рівня скидів хімічних речовин, що забруднюють довкілля у процесі їх виробництва, та вжиття заходів щодо запобігання аварійним ситуаціям, пов'язаним із залповими та раптовими викидами і скидами, своєчасне проведення ремедіації водних об'єктів.

Підвищення вимог до якості води та допустимих концентрацій забруднень в промислових стічних водах, зумовлює необхідність шукати нові, екологічно чисті та економічно вигідні способи видалення з них поллютантів різної природи. До таких методів, які успішно застосовуються для рішення цієї проблеми і є достатньо ефективними, можна віднести біологічні методи [7, 9, 11]. Біодеструкція органічних поллютантів, детоксикація металовмісної води мікроорганізмами є альтернативою більш вартісним і іноді менш ефективним фізико-хімічним технологіям, застосування яких потребує громіздкого складного обладнання і значних витрат електроенергії [4, 5].

Мета даної роботи полягала в очищенні води від фенолу та йонів важких металів з використанням бактерій роду *Pseudomonas*.

Матеріали та методи

Для проведення дослідження використовували штами бактерій роду *Pseudomonas*: *P. cepacia* ONU327 (виділений із ґрунту), *P. fluorescens* ONU328 і *P. maltophilia* ONU329 (виділені з морської води), що зберігаються в колекції непатогенних мікроорганізмів кафедри мікробіології, вірусології та біотехнології ОНУ імені І. І. Мечникова.

Для мікробного очищення води від фенолу та йонів важких металів бактерії попередньо нарощували у живильному середовищі складу (г/дм³): КН₂РО₄ – 1,5; Na₂НРО₄ – 3; NaCl – 5; NH₄Cl – 1; пептони – 10; глюкоза – 2; дріжджовий екстракт – 5. Нарощування біомаси здійснювали при рН 7,0–7,2 і температурі 28 °С протягом 48 год до досягнення щільності культур не менше 5 г/дм³ за сухою біомасою. Приготовану бактеріальну асоціацію (біореагент), складену із штамів *P. cepacia* ONU327, *P. fluorescens* ONU328 і *P. maltophilia* ONU329 (1:1:1 за об'ємом) змішували із забрудненою водою та при підвищенні ступеня очищення води від неорганічних поллютантів (йонів важких металів) вводили свіжоприготовані водні розчини Н₂О₂ (3%) і СаСl₂ (10%). Під дією перекису водню і хлориду кальцію суттєво пришвидшувався процес утворення в однорідній суспензії біофлорів (за відсутності хімреагентів агрегація бактерій протікає значно повільніше і відбувається під дією поліцукрид-



них комплексів клітинної стінки). При цьому різко збільшувалася загальна адсорбційна ємність системи і, відповідно, ефективність очищення води від свинцю, кадмію та цинку (які в переважній кількості містяться у відпрацьованих розчинах гірничо-видобувної промисловості).

Ефективність очищення води від поллютантів різної природи оцінювали за ступенем очищення ($\alpha, \%$), розрахованим за рівнянням:

$$\alpha = [C_0 - C] / C_0 \times 100\%$$

де C_0 і C – концентрації поллютанту у воді до та після мікробіологічної очистки.

Концентрацію фенолу визначали екстракційно-фотометричним методом з використанням 4-аміноантипірину; важких металів – атомно-абсорбційним методом на полум'яному атомно-абсорбційному спектрофотометрі "Сатурн" в полум'ї суміші "повітря – пропан – бутан".

Достовірність відмінностей між середніми значеннями визначали за критерієм Стьюдента на рівні значущості не менше 95% ($p \leq 0,05$). Обробку даних здійснювали з використанням програми «Microsoft Office Excel 2003».

Результати досліджень та їх обговорення

Експериментально підтверджено ефективність очищення води від високотоксичного фенолу за дії окремих штамів бактерій роду *Pseudomonas* та їх асоціації. Результати по очищенню води від фенолу (з вихідною концентрацією 300 мг/дм³) за дії окремих штамів мікроорганізмів *P. ceracia* ONU-327, *P. fluorescens* ONU-328 і бактеріальної асоціації *P. ceracia* ONU327, *P. fluorescens* ONU328 і *P. maltophilia* ONU329 (1:1:1 за об'ємом), отримані при температурі 30 °С, представлені на рис. 1.



Рис. 1. Ступінь очищення води від фенолу (%) протягом часу (t, доба) за дії окремих штамів *P. ceracia* ONU327 (1); *P. fluorescens* ONU328 (2), *P. maltophilia* ONU329 (3) та бактеріальної асоціації *P. ceracia* ONU327, *P. fluorescens* ONU328 і *P. maltophilia* ONU329 (1:1:1 за об'ємом) (4).

Примітки: * початкова концентрація фенолу – 300 мг/дм³; концентрація бактеріальних клітин – $7,5 \times 10^5$ КУО/мл

Fig. 1. The degree of water purification from phenol (%) for time (t, day) in presence of individual strains of *P. ceracia* ONU327 (1); *P. fluorescens* ONU328 (2) and bacterial association *P. ceracia* ONU327, *P. fluorescens* ONU328 and *P. maltophilia* ONU329 (1: 1: 1 by volume) (3).

Notes: * initial concentration of phenol – 300 mg/dm³; the concentration of bacterial cells is 7.5×10^5 CFU/ml



При введенні в забруднену воду штамів *P. ceracia* ONU327 в кількості $7,5 \times 10^5$ КУО/мл ступінь очищення води від фенолу на 10 добу сягав $\sim 45\%$; використання штаму *P. fluorescens* ONU328, *P. maltophilia* ONU329 підвищувало ефективність знефенолення води до 78% і 93% відповідно (рис. 1). Введення у забруднену фенолом воду бактеріальної асоціації дозволяє дещо прискорити процес біодеструкції фенолу; що супроводжувалося за такий самий період 10 діб підвищенням ефективності очищення води від фенолу до 100% . Варто зазначити, що аналогічну високу ефективність знефенолення стічних вод коксохімічних заводів шляхом використання фенол-деструктивних мікроорганізмів підтверджено Путиліною Н.Т. [4, 5].

Експериментально встановлено, що штами бактерій *P. ceracia* ONU327, *P. fluorescens* ONU328 і *P. maltophilia* ONU329 виявляють стійкість до порівняно високих концентрацій катіонів важких металів: Pb (II), Cd (II), Zn (II). Встановлено для окремих йонів важких металів (ІВМ) їх концентрації, що є “пороговими” для досліджуваних штамів мікроорганізмів: Pb (II) – 60 мг/дм^3 ; Cd (II) – 50 мг/дм^3 ; Zn (II) – 20 мг/дм^3 (табл. 1, 2).

Таблиця 1

Ефективність очищення води від Pb (II), Cd(II), Zn (II) вільними клітинами бактерій роду *Pseudomonas*

Table 1

Efficiency of water purification from Pb (II), Cd (II), Zn (II) by bacteria cells of the genus *Pseudomonas*

| Ефективність очищення води від ІВМ | Штам | | | |
|--|------------------------------|------------------------------|--------------------------|---|
| | <i>P. fluorescens</i> ONU328 | <i>P. maltophilia</i> ONU329 | <i>P. ceracia</i> ONU327 | <i>P. ceracia</i> , <i>P. fluorescens</i> , <i>P. maltophilia</i> |
| Залишкова концентрація Pb (II), мг/дм^3 | $4,1 \pm 0,65$ | $2,8 \pm 0,15$ | $1,3 \pm 0,07$ | $0,25 \pm 0,03$ |
| Ступінь вилучення Pb (II), % | 93,2 | 95,3 | 97,8 | 99,6 |
| Залишкова концентрація Cd (II), мг/дм^3 | $5,2 \pm 0,70$ | $9,5 \pm 0,90$ | $6,1 \pm 0,45$ | $4,8 \pm 0,70$ |
| Ступінь вилучення Cd (II), % | 89,6 | 81,0 | 87,8 | 90,4 |
| Залишкова концентрація Zn (II), мг/дм^3 | $9,3 \pm 0,80$ | $3,2 \pm 0,50$ | $12,2 \pm 1,20$ | $3,0 \pm 0,70$ |
| Ступінь вилучення Zn (II), % | 53,5 | 84,0 | 39,0 | 85,0 |

Примітки: * – $p \leq 0,05$; вихідні концентрації йонів важких металів у воді: Pb (II) – 60 мг/дм^3 ; Cd (II) – 50 мг/дм^3 ; Zn (II) – 20 мг/дм^3 ; рН обробки води 6,8–7,2.

Notes: * – $p \leq 0,05$; initial concentration of heavy metal ions in water: Pb (II) – 60 mg/dm^3 ; Cd (II) – 50 mg/dm^3 ; Zn (II) – 20 mg/dm^3 ; pH of water treatment 6,8–7,2.



Таблиця 2

Ефективність очищення води від Pb (II), Cd(II), Zn (II) іммобілізованими у складі біофлокул клітинами бактерій роду *Pseudomonas*

Table 2

Efficiency of water purification from Pb (II), Cd (II), Zn (II) immobilized in bioflocal cells by bacteria of the genus *Pseudomonas*

| Ефективність очищення води від ІВМ | Штам | | | |
|--|---------------------------------|---------------------------------|-----------------------------|---|
| | <i>P. fluorescens</i> ONU328 | <i>P. maltophilia</i> ONU329 | <i>P. ceracia</i> ONU327 | <i>P. ceracia</i> , <i>P. fluorescens</i> , <i>P. maltophilia</i> |
| Залишкова концентрація Pb (II), мг/дм ³ | 0,05±0,002 | 0,05±0,002 | 0,03±0,003 | 0,03±0,001 |
| Ступінь вилучення Pb (II), % | 99,92 | 99,92 | 99,95 | 99,95 |
| Залишкова концентрація Cd (II), мг/дм ³ | 0,14±0,05 | 0,88±0,07 | 0,24±0,05 | 0,02±0,001 |
| Ступінь вилучення Cd (II), % | 99,72 | 98,24 | 99,52 | 99,96 |
| Залишкова концентрація Zn (II), мг/дм ³ | 0,08±0,012 | 0,03±0,004 | 1,0±0,08 | 0,03±0,004 |
| Ступінь вилучення Zn (II), % | 99,60 | 99,85 | 95,00 | 99,85 |

Примітки: * – $p \leq 0,05$; вихідні концентрації іонів важких металів у воді: Pb (II) – 60 мг/дм³; Cd (II) – 50 мг/дм³; Zn (II) – 20 мг/дм³; рН обробки води 6,8–7,2
Notes: * – $p \leq 0,05$; initial concentration of heavy metal ions in water: Pb (II) – 60 mg/dm³; Cd (II) – 50 mg/dm³; Zn (II) – 20 mg/dm³; pH of water treatment 6,8–7,2

Особливо високу сорбційно-акумулявальну здатність усі досліджувані штами мікроорганізмів виявляли щодо Pb (II). Так, при обробці Pb-вмісних водних розчинів вільними клітинами бактерій роду *Pseudomonas* ступінь очищення залежно від штаму був у межах від 93,2% до 97,8% залежно від використаного штаму мікроорганізму, і був максимальним за дії вільних клітин штаму *P. ceracia* ONU327. Використання асоціації штамів бактерій *P. ceracia* ONU327, *P. fluorescens* ONU328 і *P. maltophilia* ONU329 (в об'ємному співвідношенні 1:1:1) хоча і сприяло незначному підвищенню ступеня очищення води від Pb (II) до 99,6% порівняно із обробкою вільними клітинами штаму *P. ceracia* ONU327 (97,8%), однак залишкова концентрація Pb (II) у воді $0,25 \pm 0,03$ мг/дм³ не відповідала нормі гранично-допустимої концентрації (ГДК) для скидання такої води у каналізацію. Аналогічний результат спостерігався і при вилученні Cd (II), Zn (II) із водних розчинів: на виході очищувальної системи концентрація важких металів була значно вищою за ГДК, навіть за дії асоціації штамів *P. ceracia* ONU327, *P. fluorescens* ONU328 і *P. maltophilia* ONU329, за якої спостерігався синергетичний ефект щодо метал-акумулявальної здатності. Однак, слід, підкреслити: до іонів важких металів, що відносяться до I класу токсичності [Pb (II), Cd (II)] усі штами



мікроорганізмів виявляли більшу метал-акумулювальну здатність, ніж до Zn (II). Найбільша Zn-акумулювальна здатність спостерігалася лише у штаму *P. maltophilia* ONU329. За обробки Zn-вмісних розчинів вільними клітинами штаму *P. maltophilia* ONU329 концентрація Zn (II) зменшувалася з 20 мг/дм³ до 3,2±0,50 мг/дм³ при досягненні ступеня очищення води 84%.

При мікробному очищенні металовмісних розчинів за відсутності хімічних реагентів (перекису водню та хлориду кальцію) агрегація бактерій протікала дуже повільно від 60 до 90 хвилин і відбувалася під дією поліцукридних комплексів їх клітинних стінок. Під впливом хімічних реагентів значно пришвидшувався (до 15–20 хвилин) процес утворення у воді бактеріальних агрегатів – біофлокул. При цьому різко збільшувалася загальна адсорбційна ємність системи і, відповідно, ефективність очищення води від ІВМ, особливо від Zn (II) (табл. 2). Результати по очищенню води від йонів важких металів Pb (II), Cd (II), Zn (II), іммобілізованими у складі біофлокул клітинами бактерій роду *Pseudomonas* представлені в табл. 2.

Як видно із даних табл. 2, очищення металовмісних розчинів за дії іммобілізованих у складі біофлокул клітин *P. fluorescens* ONU328, *P. maltophilia* ONU329, *P. ceracia* ONU327 є досить ефективним щодо вилучення небезпечних для людини і навколишнього середовища йонів важких металів. Ступінь вилучення Pb (II), Cd (II), Zn (II) із концентрованих розчинів окремими штамми мікроорганізмів сягав 95,00–99,95% при залишковому вмісті йонів важких металів у розчині 0,03–1,0 мг/дм³. Використання асоціації штамів бактерій роду *Pseudomonas* в попередньому очищенні металовмісних розчинів забезпечує найбільшу ефективність (див. табл. 2). При цьому залишкова концентрація Pb (II), Cd (II), Zn (II) знаходиться у межах 0,02–0,03 мг/дм³, що значно нижче або на рівні їх гранично-допустимої концентрації (ГДК) для скидання очищених розчинів у каналізацію: Pb (II) – 0,03 мг/дм³; Cd (II) – 0,02 мг/дм³; Zn (II) – 1,0 мг/дм³.

Експериментально підтверджено, що на відміну від аналогічного способу [11] кожен з штамів бактерій роду *Pseudomonas*: *P. fluorescens* ONU328, *P. maltophilia* ONU329, *P. ceracia* ONU327 та їх асоціація (1:1:1) володіє сорбційно-акумулювальною дією і щодо Cr (VI) [12].

Використані при очищенні забрудненої води штамми бактерій роду *Pseudomonas* поряд із високою адсорбційно-акумулювальною здатністю щодо ІВМ також виявляють підвищений деструктивний потенціал щодо токсичних фенольних сполук і вуглеводнів нафти [13], що розкриває межі їх використання в біотехнології очищення навколишнього середовища від різних хімічних забруднювачів.

Встановлено, що за дії окремих штамів бактерій роду *Pseudomonas* у кількості 7,5×10⁵ КУО/мл протягом 18–22 діб (залежно від обраного штаму) відбувається повне знефенолення водних розчинів. При використанні асоціації штамів час глибокого очищення води від фенолу з вихідною концентрацією у воді 300 мг/дм³ скорочується до 10 діб.

Рекомендовано використовувати асоціацію штамів *P. fluorescens* ONU328, *P. maltophilia* ONU329 і *P. ceracia* ONU327 як більш ефективний біосорбент і біоаккумулятор йонів важких металів, які перебувають в катіонній



формі (Pb (II), Cd (II), Zn (II)). За обробки концентрованих металовмісних розчинів (з концентрацією йонів важких металів до 60 мг/дм³) іммобілізованими у складі біофлокул клітинами бактеріальної асоціації залишкова концентрація Pb (II), Cd (II), Zn (II) складає 0,03±0,001, 0,02±0,001 і 0,03±0,004 мг/дм³ відповідно, що не перевищує гранично-допустимої їх концентрації для скидання очищених розчинів у каналізацію. Очищену від важких металів воду можна повторно використовувати у замкнутому технологічному процесі.

Розроблено екобезпечний і ефективний метод попереднього очищення води від фенолу та йонів важких металів асоціацією бактерій роду *Pseudomonas* – *P. fluorescens* ONU328, *P. maltophilia* ONU329, *P. serasia* ONU327 (1:1:1 в об'ємному співвідношенні) для подальшого її використання в комплексній біотехнології очищення стічних вод медичних закладів, виробництва фармацевтичних препаратів, гірничопромислових комплексів від поллютантів різної природи.

**Е. Г. Горшкова, Т. В. Гудзенко, О. В. Волювач,
І. П. Конуп, Т. А. Беляєва**

Одесский национальный университет имени И.И. Мечникова,
ул. Дворянская, 2, Одесса, 65082, Украина; тел.: +38 (068) 259 33 08,
e-mail: tgudzenko@ukr.net

ОЧИСТКА ВОДЫ ОТ ФЕНОЛА И ИОНОВ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ АССОЦИАЦИЕЙ БАКТЕРИЙ РОДА *PSEUDOMONAS*

Реферат

Цель. Очистка воды от фенола и ионов тяжелых металлов с использованием бактерий рода *Pseudomonas*. **Методы.** Эффективность микробной очистки оценена по степени извлечения из воды циклических ароматических соединений – фенола и тяжелых металлов [Pb (II), Cd (II), Zn (II)]. Концентрацию фенола определяли экстракционно-фотометрическим методом с использованием 4-аминоантипирина; тяжелых металлов - атомно-абсорбционным методом на пламенном атомно-абсорбционном спектрофотометре "Сатурн" в пламени смеси "воздух – пропан – бутан". **Результаты.** Для очистки воды от фенола и ионов тяжелых металлов использованы штаммы *P. fluorescens* ONU328, *P. maltophilia* ONU329, *P. serasia* ONU327. Установлено, что в присутствии отдельных штаммов микроорганизмов в количестве $7,5 \times 10^5$ КОЕ / мл в течение 18–22 суток (в зависимости от выбранного штамма) происходит полное обесфеноливание водных растворов. При использовании ассоциации штаммов *P. fluorescens* ONU328, *P. maltophilia* ONU329, *P. serasia* ONU327 (1: 1: 1 в объемном соотношении) время глубокой очистки воды от фенола с исходной концентрацией в воде 300 мг/дм³ сокращается до 10 суток. Степень извлечения Pb (II), Cd (II), Zn (II) из концентрированных растворов отдельными штаммами микроорганизмов в составе биофлокул достигает 95,00–99,95% при остаточном содержании ионов тяжелых металлов в растворе (0,03–1,0) мг/дм³. Использование ассоциации штаммов *P. fluorescens* ONU328, *P. maltophilia* ONU329, *P. serasia* ONU327 обеспечивает наибольшую эффективность очистки



воды от катионов тяжелых металлов. При обработке металл-содержащих растворов иммобилизованными в составе биофлокул клетками бактериальной ассоциации остаточная концентрация Pb (II), Cd (II), Zn (II) составляет $0,03 \pm 0,001$, $0,02 \pm 0,001$ и $0,03 \pm 0,004$ мг / дм³ соответственно, что не превышает предельно-допустимой их концентрации в очищенных водах для сброса в канализацию. **Вывод.** Использованные штаммы бактерий рода *Pseudomonas* характеризуются полифункциональным потенциалом биотехнологического назначения – деструктивным по отношению к фенолу и сорбционно-аккумулирующим относительно ионов тяжелых металлов, что раскрывает перспективы их использования в комплексной биотехнологии очистки окружающей среды от загрязнителей разной природы.

Ключевые слова: микробная очистка воды, фенол, ионы тяжелых металлов, ассоциация бактерий рода *Pseudomonas*.

**O. G. Gorshkova, T. V. Gudzenko, O. V. Voliuvach,
I. P. Konup, T. O. Belyaeva**

Odesa National Mechnykov University, 2, Dvoryanska St.,
Odesa, 65082, Ukraine, tel.: +38 (068) 259 33 08,
e-mail: tgudzenko@ukr.net

PURIFICATION OF WATER FROM PHENOL AND IONS OF HEAVY METALS BY THE ASSOCIATION OF BACTERIA OF THE GENUS *PSEUDOMONAS*

Summary

Aim. Purification of water from phenol and heavy metal ions using bacteria of the genus *Pseudomonas*. **Methods.** The effectiveness of microbial purification is estimated by the degree of extraction from the water of cyclic aromatic compounds - phenol and heavy metals [Pb (II), Cd (II), Zn (II)]. The phenol concentration was determined by the extraction-photometric method using 4-aminoantipyrine; heavy metals – by atomic absorption method on flame atomic absorption spectrophotometer "Saturn" in the flame of the air-propane-butane mixture. **Results.** The strains of *P. fluorescens* ONU328, *P. maltophilia* ONU329, *P. cepacia* ONU327 were used for the first time to purify water from cyclic aromatic compounds (phenol) and heavy metal ions. It was found that in the presence of individual strains of microorganisms in the amount of 7.5×10^5 CFU/ml for 18–22 days (depending on the chosen strain) complete dephenolization of aqueous solutions occurs. When using the association of strains *P. fluorescens* ONU328, *P. maltophilia* ONU329, *P. cepacia* ONU327 (1: 1: 1 in volume ratio), the deep water purification from phenol with the initial concentration in water of 300 mg/dm³ is reduced to 10 days. The degree of extraction of Pb (II), Cd (II), Zn (II) from concentrated solutions by individual strains of microorganisms in the composition of biofloques reaches 95,00–99,95% with residual content of heavy metal ions in solution (0,03–1,0) mg/dm³. Using the association of strains of *P. fluorescens* ONU328, *P. maltophilia* ONU329, *P. cepacia* ONU327 provides the greatest efficiency of water purification from cations of heavy metals. In the treatment of metal-containing solutions immobilized in a biofloacular bacterial cell, the residual concentration of Pb (II), Cd (II), Zn (II) is $0,03 \pm 0,001$, $0,02 \pm$



0,001 and $0,03 \pm 0,004$ mg/dm³ accordingly, that does not exceed the maximum permissible concentration in purified waters for discharge into the sewage system. **Conclusion.** The used strains of bacteria of the genus *Pseudomonas* are characterized by polyfunctional potential of biotechnological purpose – destructive to phenol and sorption-accumulating relative to ions of heavy metals, which reveals the prospects of their use in complex biotechnology of environmental purification from the pollutants of different nature.

Key words: microbial purification of water, phenol, heavy metal ions, association of bacteria of the genus *Pseudomonas*.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Бингам Ф. Т., Пръа Ф. Д., Джерелл У. М. Некоторые вопросы токсичности ионов металлов / Под ред. Зигеля Х., Зигеля А.М. – М.: Мир, 1993. – 230 с.
2. Горб А. С. Гідрометеорологічні аспекти техногенного впливу на довкілля Дніпропетровської області : [монографія]/ А.С. Горб, Д.О. Довганенко, Л.В. Доценко, С.М. Сердюк, Л.І. Осадча, Н.П. Шерстюк. – Дніпропетровськ: Акцент ПП, 2014. – 230 с.
3. Давидова І. В. Екологічна оцінка забруднення водних об'єктів і ґрунтового покриву у процесі проведення вибухових робіт при розробці гранітних кар'єрів на Житомирському Поліссі : автореф. дис... канд. с.-г. наук; Житомир. нац. агрокол. ун-т. – Житомир, 2009. – 19 с.
4. Путилина Н. Т. Обесфеноливание сточных вод коксохимических заводов путем применения чистых, культур фенолразрушающих микробов // Гигиена и санитария. – 1952. – № 12. – с. 8-П.
5. Путилина Н. Т., Квитницкая Н. Н., Костовецкий Я. И. Микробный метод обесфеноливания сточных вод. – Киев: Здоровья, 1964. – 87 с.
6. Трахтенберг И. М., Колесников В. С., Луковенко В. П. Тяжелые металлы во внешней среде. Современные гигиенические и токсикологические аспекты. – Минск: Наука и техника, 1994. – 285 с.
7. Хенце М., Армос П., Ля-Кур-Янсен Й., Арван Э. Очистка сточных вод: Биологические и химические процессы / Под ред. С.В. Калюжного. – М.: Мир, 2004. – 480 с.
8. Шкіца Л. Є. Екологічна безпека гірничопромислових комплексів Західного регіону України : автореф. дис... д-ра техн. наук; Івано-Франк. нац. техн. ун-т нафти і газу. – Івано-Франківськ, 2006. – 36 с.
9. Шулаев М. В. Научные основы обезвреживания и жидких отходов гальванических и металлообрабатывающих производств с использованием анаэробной биосорбционной технологии : автореф. дис... д-ра. техн. наук; Казань, 2009. – 23 с.
10. <http://biology.krc.karelia.ru/misc/hydro/mon5.html>
11. Патент Российской Федерации на изобретение № 4234. МПК C02F3/34, C12 № 1/20, C12R1:01. Способ микробиологической очистки сточных вод промышленных предприятий от ионов тяжелых металлов: цинка, кадмия и свинца. - Опубл. 20.11.2003, Бюл. № 26.



12. *Патент України* на корисну модель №102265. МПК C02F 1/24 (2006.1), C02F 1/50 (2006.1), C02F/ 3/34 (2006.1). Спосіб очищення води від хрому (VI) з використанням мікроорганізмів / Іваниця В. О., Гудзенко Т. В., Волювач О. В., Горшкова О. Г., Беляєва Т. О., Конуп І. П. – Опубл.: 26.10.2015., Бюл. № 20.

13. *Патент України* на корисну модель №90550. Спосіб визначення нафтодеструктивної активності мікроорганізмів / Іваниця В. О., Гудзенко Т. В., Волювач О. В., Беляєва Т. О., Горшкова О. Г., Конуп І. П. – Опубл.: 26.05.14., Бюл. № 10, 2014.

References

1. Bingam FT, Pra FD, Dzherell UM. Nekotoryye voprosy toksichnosti ionov metallov / Pod red. Zigelya Kh, Zigelya AM. M.: Mir. 1993: 230.

2. Gorb AS. Gidrometeorologichni aspekty` texnogenogo vply`vu na dovkillya Dnipropetrovs`koyi oblasti : [monografiya]/ AS. Gorb, DO. Dovganenko, L.V. Docenko, S.M. Serdyuk, L.I. Osadcha, N.P. Sherstyuk. Dnipropetrovs`k: Akcent PP, 2014 : 230.

3. Davy`dova IV. Ekologichna ocinka zabrudnennya vodny`x ob'yektiv i gruntovogo pokry`vu u procesi provedennya vy`buxovy`x robit pry` rozrobci granitny`x kar'yeriv na Zhy`tomy`rs`komu Polissi : avtoref. dy`s... kand. s.-g. nauk; Zhy`tomy`r. nacz. agroekol. un-t. Zhy`tomy`r, 2009 : 19

4. Putilina NT. Obesfenolivanie stochnyh vod koksohimicheskikh zavodov putem primenenija chistyh, kul'tur fenolrazrushajushhih mikrobov. Gigiena i sanitarija, 1952; 12: 8-P.

5. Putilina NT, Kvitnickaja HH., Kostoveckij JaI. Mikrobnyj metod obesfenolivaniya stochnyh vod. Kiev: Zdorov'ja, 1964: 87.

6. Trakhtenberg IM, Kolesnikov VS, Lukovenko VP. Tyazhelye metally vo vneshney srede. Sovremennyye gigiyenicheskiye i toksikologicheskiye aspekty. – Minsk: Nauka i tekhnika. 1994 : 285.

7. Khentse M, Armos P, Lya-Kur-Yansen Y, Arvan E. Ochistka stochnykh vod: Biologicheskkiye i khimicheskkiye protsessy / Pod red. S.V. Kalyuzhnogo. - M.: Mir. 2004 : 480.

8. Shkicza LYe. Ekologichna bezpeka girny`chopromy`slovy`x kompleksiv Zaxidnogo regionu Ukrayiny` : avtoref. dy`s...d-ra texn. nauk; Ivano-Frank. nacz. texn. un-t nafty` i gazu. – Ivano-Frankivs`k, 2006. 36.

9. Shulayev MV. Nauchnyye osnovy obezvrezhivaniya i zhidkikh otkhodov galvanicheskikh i metalloobrabatyvayushchikh proizvodstv s ispolzovaniem anaerobnoy biosorbtsionnoy tekhnologii : avtoref. dis... d-ra. tekhn. nauk; Kazan. 2009: 23.

10. <http://biology.krc.karelia.ru/misc/hydro/mon5.html>

11. Patent Rossijskoj Federacii na izobretenie № 4234. MPK S02F3/34, S12 № 1/20, S12R1:01. Sposob mikrobiologicheskoy ochistki stochnyh vod promyshlennyh predpriyatij ot ionov tyazhelyh metallov: cinka, kadmiya i svinca. - Opubl. 20.11.2003, Byul. № 26.



12. Patent Ukrainy` na kory`snu model` №102265. MPK C02F 1/24 (2006.1), S02F 1/50 (2006.1), C02F/ 3/34 (2006.1). Sposib ochy`shhennya vody` vid xromu (VI) z vy`kory`stannyam mikroorganizmiv / Ivany`cya V.O., Gudzenko T.V., Volyuvach O.V., Gorshkova O.G., Byelyayeva T.O., Konup I.P. – Opubl.: 26.10.2015., Byul. №20.

13. Patent Ukrainy` na kory`snu model` №90550. Sposib vy`znachennya naftodestrukty`vnoyi akty`vnosti mikroorganizmiv / Ivany`cya V.O., Gudzenko T.V., Volyuvach O.V., Byelyayeva T.O., Gorshkova O.G., Konup I.P. – Opubl.: 26.05.14., Byul. №10, 2014.

Стаття надійшла до редакції 07.06.2018 р.

