

УДК 579.695

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

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

ВИЛУЧЕННЯ CU (II) З ВОДНИХ РОЗЧИНІВ ІММОБІЛІЗОВАНИМИ КЛІТИНАМИ БАКТЕРІЙ РОДУ *PSEUDOMONAS*

Мета. Розробити спосіб очищення води від Cu (II) з використанням бактерій роду *Pseudomonas*, іммобілізованих на природних сорбентах. **Методи.** Для проведення досліджень використовували непатогенні штами бактерій *P. serasia* ONU327, *P. fluorescens* ONU328, *P. maltophilia* ONU329. Вміст Cu (II) у воді визначали атомно-абсорбційним методом на полум'яному атомно-абсорбційному спектрофотометрі "Сатурн" у полум'ї суміші "повітря – пропан – бутан" за довжини хвилі для Cu (II) 324,7 нм. Статистичне опрацювання результатів досліджень проводили за допомогою комп'ютерної програми «Microsoft Office Excel 2003» із визначенням *t*-критерію Стьюдента. **Результати.** Експериментально встановлено, що передочищення води від Cu (II) з концентрацією 50 мг/дм³ у присутності асоціації бактерій *P. fluorescens* ONU328, *P. maltophilia* ONU329, *P. serasia* ONU327, іммобілізованих на бентонітовій глині та хітозані, знижувало концентрацію йонів міді на 70–75%, що відповідало залишковій концентрації міді 15,0–12,5 мг/дм³. Після глибокого доочищення води від Cu (II) іммобілізованими у складі біофлокул бактеріями (за присутності перекису водню і хлориду кальцію залишковий вміст Cu (II) складав 0,10±0,008 мг/дм³, що не перевищувало норму ГДК у воді водойм санітарно-побутового водокористування (0,1 мг/дм³) та у воді для скидання в каналізаційну систему. **Висновок.** Розроблений спосіб глибокого очищення води від Cu (II) з використанням бактерій роду *Pseudomonas*, іммобілізованих на природних сорбентах (глині та хітозані) та у складі біофлокул, дозволяє зменшити вміст йонів міді з 50 мг/дм³ до 0,10±0,008 мг/дм³ та скидати очищену воду в каналізаційну систему.

Ключові слова: очищення води, Cu (II), *Pseudomonas*, бентонітова глина, хітозан.

Широке застосування міді в промисловості зумовлено її високою електропровідністю, пластичністю, доброю корозійною стійкістю, теплопровідністю, ливарними властивостями. Повсюдне використання міді та її сполук неминуче призводить до потрапляння Cu (II) у водне середовище [7]. Гранично допустима концентрація (ГДК) йонів міді у воді водойм санітарно-побутового водокористування складає 0,1 мг/дм³ (лімітуюча ознака шкідливості – загальносанітарна), у воді рибогосподарських водойм – 0,001 мг/дм³.

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



Тому на сьогодні вилучення міді (II), що відноситься до важких металів I класу небезпеки, є важливим науково-технічним та екологічним завданням.

Очищення води від токсичних забруднень, зокрема від йонів міді, може бути проведено хімічним, фізико-хімічним, електрохімічним способами. Однак, вони дорогі, громіздкі та не завжди забезпечують високий рівень очищення [5].

Підвищення вимог до якості води та допустимих концентрацій забруднень в промислових металовмісних стічних водах, які скидаються у водойми, змушує шукати нові, екологічно чисті та економічно вигідні способи вилучення з них йонів важких металів, зокрема Cu (II). До таких методів, можна віднести сорбцію на різних сорбентах, в тому числі хімічно або біологічно модифікованих [12]. Для очищення промислових металовмісних стічних вод часто застосовують синтетичні полімерні катіоніти, окислені синтетичні полімери, вуглецеві [4] та інші природні сорбенти [6, 13, 14].

На сьогоднішній день детоксикація води, що забруднена йонами важких металів, зокрема Cu (II), біосорбентами є альтернативою більш дорогим і менш ефективним фізико-хімічним технологіям, здійснення яких потребує громіздкого складного обладнання і певних витрат електроенергії [8, 9, 11, 15].

Мета дослідження – розробити спосіб очищення води від Cu (II) з використанням бактерій роду *Pseudomonas*, іммобілізованих на природних сорбентах.

Матеріали та методи

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

Як природні сорбенти застосовували бентонітову глину і хітозан медичного призначення, складений з 15% хітину раків і 85% хітозану. Бентонітові глини мають шарувату структуру, складаються із мінералів монтмориллонітової групи зі змінним складом $\text{Si}_8\text{Al}_4\text{O}_{20}(\text{OH})_4\frac{1}{2}n\text{H}_2\text{O}$, в яких катіони кремнію (Si^{4+}) можуть замінюватися катіонами Al^{3+} , Mg^{2+} , Fe^{2+} , Fe^{3+} , Zn^{2+} , Cu^{2+} і т.д. Частинки глинистих мінералів набухають у воді і характеризуються підвищеною катіонообмінною здатністю [6].

На природних сорбентах – бентонітовій глині і хітозані здійснювали іммобілізацію бактеріальної асоціації, складеної із штамів *P. fluorescens* ONU328, *P. maltophilia* ONU329, *P. ceracia* ONU327 (1:1:1 за об'ємом). Попередньо бактерії культивували при температурі 28 °C, pH 7, у живильному середовищі М-9, що містило (г/л): KH_2PO_4 – 1,5; Na_2HPO_4 – 3; NaCl – 5; NH_4Cl – 1; пептон – 10; глюкоза – 2; дріжджовий екстракт – 5. Нарощування біомаси здійснювали протягом 48 год до досягнення щільності культур не менш 5 г/л по сухій біомасі, після чого бактеріальною асоціацією модифікували природні сорбенти. Іммобілізацію бактерій на природних носіях здійснювали шляхом змішування сорбентів (4 г) з суспензією (100 мл) життєздатних бактерій, яка містила 1×10^9 кл/мл, та витримування 60 хв.



Вміст Cu (II) у воді визначали атомно-абсорбційним методом на полум'яному атомно-абсорбційному спектрофотометрі "Сатурн" у полум'ї суміші "повітря – пропан – бутан" за довжини хвилі для Cu (II) 324,7 нм.

Експерименти здійснювали в п'яти повторах. Статистичну обробку результатів досліджень проводили за допомогою комп'ютерної програми «Microsoft Office Excel 2003» із визначенням *t*-критерію Стьюдента. Статистично вірогідною вважали різницю при $p < 0,05$.

Результати досліджень та їх обговорення

З метою попередження потрапляння високонебезпечних йонів важких металів, зокрема Cu (II), у навколишнє середовище в місцях скидання металовмісних промстоків проведено комплекс досліджень, спрямованих на розробку ефективного способу очищення води від йонів міді з використанням іммобілізованих клітин асоціації непатогенних бактерій роду *Pseudomonas* (*P. cepacia* ONU327, *P. fluorescens* ONU328, *P. maltophilia* ONU329). Розроблена схема очищення води від Cu (II) представлена на рис. 1.

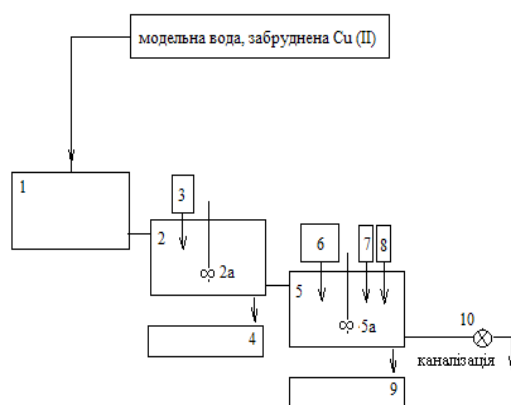


Рис. 1. Схема способу очищення водних розчинів від Cu (II) з використанням іммобілізованих бактерій роду *Pseudomonas*

Fig. 1. Scheme of a method of purifying of aqueous solutions from Cu (II) using immobilized bacteria of the genus *Pseudomonas*

Модельну воду, що не містила після відстоювання (відстійник (1)) механічних домішок, спрямовували у резервуар (2) з перемішувачем (2а), де відбувалася стадія передочищення води від Cu (II) з концентрацією 50 мг/дм³. Перемішування здійснювали протягом 30 хв у присутності природних сорбентів – бентонітової глини та хітозану з іммобілізованими бактеріями, що вводили із ємності (3) у кількості з розрахунку 2 г суміші сорбентів (1:1 за масою) на 1 л забрудненої води. Після відстоювання (30 хв) у резервуарі (2) вода від міді (II) очищувалася на 70–75%, що відповідало залишковій концентрації міді 15,0–12,5 мг/дм³. Далі для доочищення воду направляли у резервуар (5) з перемішувачем (5а), куди вводили із ємності (6) бактеріальну асоціацію. Із дозаторів (7, 8) для утворення біофлокул вводили 3%-ий розчин перекису водню (3 мл H₂O₂/1л) і 10%-ний розчин хлориду кальцію (50 мл CaCl₂/1л), що приводили до зшивання між собою екзополіцукридних



комплексів бактеріальних клітин та супроводжувалося різким зростанням адсорбційної ємності.

На виході з системи (10) залишковий вміст Cu (II) у обробленій воді складав $0,10 \pm 0,008$ мг/дм³, що не перевищувало норму ГДК у воді водойм санітарно-побутового водокористування (0,1 мг/дм³) та у воді для скидання її в каналізаційну систему (0,1 мг/дм³).

Після кожної біосорбційної обробки води із резервуарів (2) і (5) осади, що містили Cu (II) та біомасу з непатогенних штамів бактерій та їх метаболітів, збирали у відстійниках (4) і (9). Утворені осади можуть бути використані у подальших циклах очищення води.

Результати по очищенню модельних водних розчинів від йонів міді вільними та іммобілізованими клітинами бактерій роду *Pseudomonas*: *P. fluorescens* ONU328, *P. maltophilia* ONU329, *P. cepacia* ONU327 і їх асоціацією представлені на рис. 2. Встановлено, що при введенні у водний розчин міді (CuSO₄) суспензій бактерій *Pseudomonas* до концентрації мікробних клітин 1×10^9 кл·мл⁻¹ ступінь вилучення Cu (II) був невисоким і коливався в межах від 20 до 28% (залежно від використаного штаму). Так, за дії штаму *P. fluorescens* ONU328 та асоціації штамів *P. fluorescens* ONU328, *P. maltophilia* ONU329, *P. cepacia* ONU327 (1:1:1) концентрація Cu (II) в розчині зменшувалася з 15,0 мг/дм³ до $12,0 \pm 1,85$ мг/дм³ і $9,75 \pm 1,57$ мг/дм³, відповідно, за ступеня очищення від Cu (II) 28% і 35% (рис. 2А).

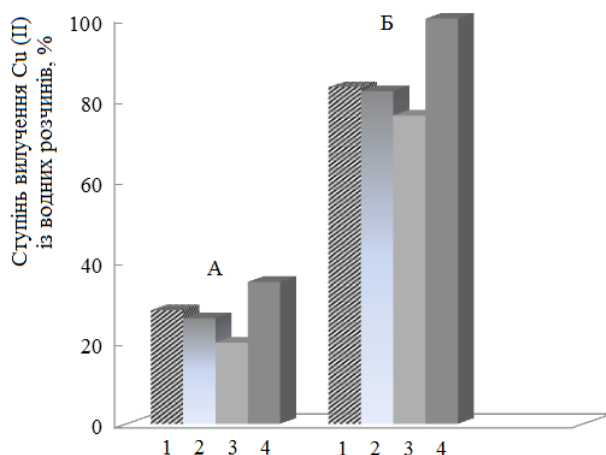


Рис. 2. Ступінь вилучення Cu (II) із водних розчинів за дії штамів бактерій роду *Pseudomonas*: *P. fluorescens* ONU328 (1), *P. maltophilia* ONU329 (2), *P. cepacia* ONU327 (3) та їх асоціації (4) у вільному (А) та іммобілізованому складі біофлокул (Б) станах. Примітка: вихідна концентрація Cu (II) – 15 мг/дм³; 10^{-6} моль/л H₂O₂; 0,046 моль/л CaCl₂.

Fig. 2. Degree of extraction of Cu (II) from aqueous solutions by strains of bacteria of the genus *Pseudomonas*: *P. fluorescens* ONU328 (1), *P. maltophilia* ONU329 (2), *P. cepacia* ONU327 (3) and their associations (4) in free (A) and immobilized in the composition of biofloculs (B) states.

Note: the initial concentration of Cu (II) is 15 mg/dm³; 10^{-6} mol/l H₂O₂; 0.046 mol/l CaCl₂.

За мікробіологічного очищення водних розчинів від Cu (II) за відсутності хімічних реагентів (H₂O₂, CaCl₂) агрегація бактерій протікала повільно (від 60 до 90 хв) і відбувалася за участі поліцукридних комплексів

клітинних стінок. Експериментально доведено, що під впливом хімічних реагентів у 2–3 рази пришвидшувався процес утворення у воді бактеріальних агрегатів. При цьому різко збільшувалася загальна адсорбційна ємність системи і, відповідно, ефективність очищення водних розчинів від Cu (II). За оптимально встановлених концентрацій реагентів: H_2O_2 – 10^{-6} моль/л, CaCl_2 – 0,046 моль/л, ступінь вилучення Cu (II) іммобілізованими у складі біофлокул клітинами бактерій роду *Pseudomonas* підвищувався у 3 рази порівняно з обробкою Cu-вмісних розчинів вільними клітинами цих бактерій, та варіював від 76% (за дії штаму *P. cepacia* ONU327) до 83% (за дії штаму *P. fluorescens* ONU328) при залишковій концентрації Cu (II) відповідно $3,6 \pm 0,52$ мг/дм³ і $2,55 \pm 0,44$ мг/дм³. Із досліджуваних штамів бактерій найбільш активним біосорбентом і біоаккумулятором йонів міді є бактерії штаму *P. fluorescens* ONU328. Його комбінування із штамми *P. maltophilia* ONU329 і *P. cepacia* ONU327 в об'ємному співвідношенні 1:1:1 супроводжувалося синергетичною дією відносно сорбції йонів міді. Ступінь вилучення Cu (II) іммобілізованими у складі біофлокул клітинами бактеріальної асоціації був максимальним 99,9%, залишкова концентрація йонів міді в розчині була $0,10 \pm 0,008$ мг/дм³.

Основною перевагою розробленого способу на основі іммобілізованих на природних сорбентах і у складі біофлокул непатогенних бактерій роду *Pseudomonas* є висока ефективність при очищенні водних розчинів від Cu (II), простота здійснення, екобезпека.

Раніше нами було встановлено, що бактеріальна асоціація *P. cepacia* ONU327 *P. fluorescens* ONU328, *P. maltophilia* ONU329 (1:1:1 за об'ємом) володіє поліфункціональною здатністю: сорбційно-аккумулятивною щодо йонів важких металів як в катіонній [Pb(II), Zn(II), Cd(II)], так і в аніонній формах [Cr(VI)] [1–3, 16], і деструктивною щодо органічних сполук [10].

Унікальні біотехнологічні властивості бактеріальної асоціації дозволяють рекомендувати використовувати її для очищення багатоконпонентних стічних вод підприємств металообробної промисловості, мідь-вмісних водних технологічних розчинів гальванічних цехів та стічних вод за умов їх забруднення неорганічними (йони важких металів) і органічними (нафтопродукти, поверхнево-активні речовини, фенольні сполуки) поліюгантами.

Таким чином, розроблений спосіб глибокого очищення води від Cu (II) з використанням бактерій роду *Pseudomonas*, іммобілізованих на природних сорбентах (глині та хітозані) та у складі біофлокул, що дозволяє зменшити вміст йонів міді з 50 мг/дм³ до $0,10 \pm 0,008$ мг/дм³ та скидати очищену воду в каналізаційну систему.

**Е.Г. Горшкова, Т.В. Гудзенко, О.В. Волювач,
Т.А. Беляева, И.П. Конуп**

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

ВЫДЕЛЕНИЕ Cu (II) ИЗ ВОДНЫХ РАСТВОРОВ ИММОБИЛИЗОВАННЫМИ КЛЕТКИ БАКТЕРИЙ РОДА PSEUDOMONAS



Реферат

Цель. Разработать способ очистки воды от Си (II) с использованием бактерий рода *Pseudomonas*, иммобилизованных на природных сорбентах. **Методы.** Для проведения исследований использовали непатогенные штаммы бактерий *P. ceracia* ONU327, *P. fluorescens* ONU328, *P. maltophilia* ONU329. Содержание Си (II) в воде определяли атомно-абсорбционным методом на пламенном атомно-абсорбционном спектрофотометре "Сатурн" в пламени смеси "воздух - пропан - бутан" при длине волны для Си (II) 324,7 нм. Статистическую обработку результатов исследований проводили с помощью компьютерной программы «Microsoft Office Excel 2003» с определением *t*-критерия Стьюдента. **Результаты.** Экспериментально установлено, что предочистка воды от Си (II) с концентрацией 50 мг/дм³ в присутствии ассоциации бактерий *P. fluorescens* ONU328, *P. maltophilia* ONU329, *P. ceracia* ONU327, иммобилизованных на бентонитовой глине и хитозане, снижало концентрацию ионов меди на 70–75%, что соответствовало остаточной концентрации меди 15,0–12,5 мг/дм³. После глубокой доочистки воды от Си (II) иммобилизованными в составе биофлокул бактериями (в присутствии перекиси водорода и хлорида кальция остаточное содержание Си (II) составляло 0,10±0,008 мг/дм³, не превышало норму ПДК в воде водоемов санитарно-бытового водопользования (0,1 мг/дм³) и в воде для сброса в канализационную систему. **Вывод.** Разработанный способ глубокой очистки воды от Си (II) с использованием бактерий рода *Pseudomonas*, иммобилизованных на природных сорбентах (глине и хитозане) и в составе биофлокул, позволяет уменьшить содержание ионов меди с 50 мг/дм³ до 0,10±0,008 мг/дм³ и сбрасывать очищенную воду в канализационную систему.

Ключевые слова: очистка воды, Си (II), *Pseudomonas*, бентонитовая глина, хитозан.

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

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

ISOLATION OF CU (II) FROM AQUEOUS SOLUTIONS BY IMMOBILIZED BACTERIAL CELLS OF THE GENUS *PSEUDOMONAS*

Summary

Aim. To develop a method for purifying water from Cu (II) using bacteria of the genus *Pseudomonas* immobilized on natural sorbents. **Methods.** For research use nonpathogenic bacterial strains *P. ceracia* ONU327, *P. fluorescens* ONU328, *P. maltophilia* ONU329. The content of Cu (II) in water was determined by atomic absorption method for flame atomic absorption spectrophotometer "Saturn" in the flame of a mixture of "air - propane - butan" at the wavelength for Cu (II) 324,7 nm statistical processing results of research conducted by using the computer program "Microsoft Office Excel 2003" with the definition of Student's *t*-test. **Results.** It was experimentally established that the water purification from Cu (II) at a concentration of 50 mg/dm³ in the presence of the association of bacteria



P. fluorescens ONU328, *P. maltophilia* ONU329, *P. cepacia* ONU327 immobilized on bentonite clay and chitosan reduced the concentration of copper ions by 70–75%, which corresponded to a residual copper concentration of 15.0–12.5 mg/dm³. After deep purification of water from Cu (II) by immobilized bacteria in the composition of the biofloculs (in the presence of hydrogen peroxide and calcium chloride, the residual content of Cu (II) was 0.10 ± 0.008 mg/dm³, did not exceed the maximum allowable concentration in water of the sanitary-household water use (0.1 mg/dm³) and in water for discharge into the sewage system. **Conclusion.** The developed method for deep water purification from Cu (II) using bacteria of the genus *Pseudomonas* immobilized on natural sorbents (clay and chitosan) and in the composition of biofloculs allows to reduce the content of copper ions from 50 mg/dm³ to 0.10±0.008 mg/dm³ and discharge clean water into the sewage system.

Key words: water purification, Cu (II), *Pseudomonas*, bentonite clay, chitosan.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Горшкова О.Г., Гудзенко Т.В., Іваниця В.О., Волювач О.В. Очищення води від хрому (VI) за присутністю мікроорганізмів // *Science Rise*. – 2015. – № 9/4 (14). – С. 57 – 60. – DOI: 10.15587/2313-8416.2015.50645
2. Горшкова О.Г., Волювач О.В. Біологічний спосіб очищення води від цинку (II) // *Science Rise*. – 2015. – № 10/6 (15). – С. 11–13. DOI: 10.15587/2313-8416.2015.51665
3. Гудзенко Т.В., Пузирьова І.В., Белясва Т.О., Волювач О.В., Горшкова О.Г., Іваниця В.О. Вилучення кадмію з водних розчинів природними сорбентами з іммобілізованими бактеріями роду *Pseudomonas* // *Проблеми екологічної біотехнології* – № 2. – 2013. – С. 1–11.
4. Ознобихин Л.М., Дударев В.И. Использование нефтяных коксов для получения углеродных адсорбентов // *Химия твердого топлива*. – 1999. – № 2. – С. 25–32.
5. Скрылев Л.Д., Сазонова В.Ф. Коллоидно-химические основы защиты окружающей среды от ионов тяжелых металлов. Ионная флотация. – Киев: УМКВО, 1992. – 215 с.
6. Тарасевич Ю.И., Овчаренко Ф.Д. Адсорбция на глинистых минералах. – Киев: Наукова думка, 1975. – 351 с.
7. Филов В.А. Вредные вещества в окружающей среде. Справочник. – СПб.: ПНО “Профессионал”, 2005. – 462 с.
8. Шулаев М.В. Научные основы обезвреживания и жидких отходов гальванических и металло-обрабатывающих производств с использованием анаэробной биосорбционной технологии: Автореф. дис. ...д-ра. техн. наук. Казань, 2009. – 23 с.
9. Cojocaru C., Diaconu M., Cretescu J., Savie J., Vasic V. Biosorption of copper (II) ions from aqua solution using dried yeast biomass // *Colloids and Surfaces. A.: Physiochem. Eng. Aspects*. – 2009. – 335. – P. 181–188. – DOI: 10.1026/j.colsurfa.2008.11.003



10. Gudzenko T.V., Voliuvach O.V., Belyaeva T.O., Puzyreva I.V., Lisyutin G.V., Gorshkova O.G., Ivanytsia V.O. Oil oxidative activity of some strains of bacteria of *Pseudomonas* genus // *Microbiology&Biotechnology*. – 2013. – 24, № 4. – P. 72–80.

11. Vasquez TGP., Botero AEC., LMS de Mesquita, Torem M.L. Biosorptive removal of Cd and Zn from liquid streams with a *Rhodococcus opacus* strain // *Miner. Eng.* – 2007. – 20, № 9. – P. 939–944. – DOI: 10.1016/j.jhazmat.2010.02.072

12. Wang J., Chen C. Biosorbents for heavy metals removal and future // *Biotechnol. Adv.* – 2009. – 27, № 2. – P. 195–226. – DOI: 10.1016/j.biotechadv.2008.11.002

13. Патент України №7782. Спосіб очищення природних та стічних вод від катіонів полівалентних металів / Ступін О.Б., Жерякова Г.І., Манько К.І. – №7782; опубл.: 2005. Бюл. №7.

14. Патент України №37251. Спосіб очищення природних та стічних вод від катіонів міді і свинцю / Жерякова Г.І., Ступін О.Б., Сухарева С.П. – №37251; опубл. 2008. Бюл. №22.

15. Патент України №58979А. Спосіб очищення стічних вод від іонів міді / Гулий І.С., Горобець С.В., Горобець О.Ю., Гойко І.Ю., Касаткіна Т.П. – №58979А; опубл.: 2003. Бюл. №8.

16. Патент України на корисну модель №106378. Спосіб мікробіологічної очистки розчинів від іонів свинцю / Іваниця В.О., Горшкова О.Г., Гудзенко Т.В., Волювач О.В., Беляєва Т.О., Конуп І.П. – №106378; опубл.: 2016. Бюл. № 8.

References

1. Gorshkova OG, Gudzenko TV, Ivanytsia VO, Voliuvach OV. Purification of water from chromium (VI) in the presence of microorganisms. *Science Rise*. 2015;9/4(14):57–60. DOI: 10.15587/2313-8416.2015.50645

2. Gorshkova OG, Voliuvach OV. Biological method of water purification from zinc (II). *Science Rise*. 2015;10/6(15):11-13. DOI: 10.15587/2313-8416.2015.51665

3. Gudzenko TV, Puzyreva IV, Belyaeva TO, Voliuvach OV, Gorshkova OG, Ivanytsia VO. Isolation of cadmium from aqueous solutions by natural sorbents with immobilized bacteria of the genus *Pseudomonas*. *Problems of environmental biotechnology. Problemy ekologichnoi' biotekhnologii'*. 2013;2:1–11.

4. Oznobihin LM, Dudarev VI. Use of petroleum cokes to produce carbon adsorbents. *Himija tverdogo topliva*. 1999;2:25–32.

5. Skrylev LD, Sazonova VF. *Kolloidno-himicheskie osnovy zashhity okruzhajushhej sredy ot ionov tjazhelyh metallov. Ionnaja flotacija*. – Kiev: UMKVO, 1992. 215.

6. Tarasevich JuI, Ovcharenko FD. *Adsorbicija na glinistyh mineralah*. – Kiev: Nauk. dumka, 1975. 35.

7. Filov VA. *Vrednye veshhestva v okruzhajushhej srede. Spravochnik*. – SPb.: PNO “Professional“, 2005. 462.



8. Shulaev MV. Scientific foundations of neutralization and liquid wastes of galvanic and metal-processing industries using anaerobic biosorption technology. PhD thesis, Kazan, 2009: 23.
9. Cojocaru C, Diaconu M, Cretescu J, Savie J, Vasic V. Biosorption of copper (II) ions from aqua solution using dried yeast biomass. *Colloids and Surfaces. A.: Physiochem. Eng. Aspects.* 2009;335:181–188. DOI: 10.1026/j.colsurfa.2008.11.003
10. Gudzenko TV, Voliuvach OV, Belyaeva TO, Puzyreva IV, Lisyutin GV, Gorshkova OG, Ivanytsia VO. Oil oxidative activity of some strains of bacteria of *Pseudomonas* genus. *Microbiology&Biotechnology.* 2013;4 (24):72–80.
11. Vasquez TGP, Botero AEC, LMS de Mesquita, Torem ML. Biosorptive removal of Cd and Zn from liquid streams with a *Rhodococcus opacus* strain. *Miner. Eng.* 2007;9(20):939–944. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2010.02.072
12. Wang J, Chen C. Biosorbents for heavy metals removal and future. *Biotechnol. Adv.*2009;2(27):195–226. DOI: 10.1016/j.biotechadv.2008.11.002
13. Patent of Ukraine №7782. Method of purification of natural and sewage from cations of polyvalent metals. Stupin OB, Zheryakova GI., Manko KI. – №7782; opubl.: 2005, Byul. N 7.
14. Patent of Ukraine №37251. Method of purifying natural and sewage from cations of copper and lead. Zheryakova GI, Stupin OB, Sukhareva SP.– №37251; opubl.: 2008, Byul. N 22.
15. Patent of Ukraine №58979A. Method of treating sewage from copper ions. Guli IS, Gorobets SV, Gorobets OYu, Goyko IYu, Kasatkina T.P. – №58979A; opubl.: 2003, Byul. N 8.
16. Patent of Ukraine №106378. Method for microbiological purification of solutions from lead ions. Ivanytsia VO, Gorshkova OG, Gudzenko TV, Voliuvach OV, Belyaeva TO, Konup IP. (UA). – №106378; opubl.: 2016, Byul. N 8.

Стаття надійшла до редакції 12.09.2017 р.

