

УДК 628.168:582.26(045)

В. І. Карпенко, Л. П. Голодок, М. В. Водка, О. А. Дяченко, Л. А. Сіренко

*Національний авіаційний університет, м. Київ
Дніпропетровський національний університет ім. Олесь Гончара*

ДОСЛІДЖЕННЯ МОЖЛИВОСТЕЙ ВИКОРИСТАННЯ ПОЛІФЕРМЕНТНИХ СИСТЕМ ВОДОРОСТЕЙ *MYCROCYSTIS AERUGINOSA* ДЛЯ ПІДГОТОВКИ ПИТНОЇ ТА ТЕХНОЛОГІЧНОЇ ВОДИ

Для досліджень поліферментних систем синьо-зелених водоростей *Myrocystis aeruginosa* розроблено методики та лабораторний стенд, який дозволяє регулювати силу освітлення, перемішування суспензії, вивчати розмноження клітин, проводити хімічний аналіз води. Встановлено можливість використання водоростей у біофільтрі для зниження низьких концентрацій загального заліза у воді до значень, які відповідають вимогам ГОСТ 2874-82. Розмноження клітин водоростей при очищенні води від заліза в біофільтрі вказує, що кількість ферментних систем та їх активність збільшуються. Перевага використання поліферментних систем синьо-зелених водоростей для підготовки води у тому, що вони не потребують вуглецевих енергетичних субстратів і тривалий час зберігають активність.

В. И. Карпенко, Л. П. Голодок, М. В. Водка, А. А. Дяченко, Л. А. Сиренко

*Национальный авиационный университет, г. Киев
Днепропетровский национальный университет им. Олесь Гончара*

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПОЛИФЕРМЕНТНЫХ СИСТЕМ ВОДОРΟΣЛЕЙ *MYCROCYSTIS AERUGINOSA* ДЛЯ ПОДГОТОВКИ ПИТЬЕВОЙ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ВОДИ

Для исследований полиферментных систем сине-зеленых водорослей *Myrocystis aeruginosa* разработаны методики и лабораторный стенд, позволяющий регулировать силу освещения, перемешивания суспензии, изучать размножение клеток, проводить химический анализ воды. Установлена возможность использования водорослей в биофильтре для снижения низких концентраций общего железа в воде к значениям, соответствующим требованиям ГОСТ 2874-82. Размножение клеток водорослей при очистке воды от железа в биофильтре указывает на то, что количество ферментных систем увеличивается, увеличивается также их активность. Преимуществом использования полиферментных систем сине-зеленых водорослей для подготовки воды является то, что они не нуждаются в углеродсодержащих энергетических субстратах, длительное время сохраняют свою активность.

V. I. Karpenko, L. P. Golodok, M. V. Vodka, A. A. Dyachenko, L. A. Sirenko

*Kiev National Aviation University
Oles' Gonchar Dnipropetrovsk National University*

RESEARCH OF POSSIBILITIES FOR THE USE OF MULTIENZYME COMPLEX OF ALGAE *MYCROCYSTIS AERUGINOSA* FOR TREATMENT OF DRINKABLE AND PROCESS WATER

The methods and a laboratory bench have been developed for research of the multienzyme systems of cyanobacteriae *Mycrocystis aeruginosa*. The bench allows regulating the luminous intensity and suspension agitation, studying the cells reproduction and conducting the chemical analysis of water. It has been established that algae can be used in a biofilter for reducing low concentrations of total iron in water to the levels which meet state standard (GOST 2874-82) requirements. Algae cells reproduction during water treatment from iron in a biofilter indicates that the number of enzyme systems and their activity increase. The advantage of the algae multienzyme systems use for the water treatment is the fact that they maintain their activity for a long time and do not need any carbonaceous energy substrata.

Вступ

Наша країна має найменше забезпечення прісною водою серед європейських країн. В Україні не залишилось жодного озера чи річки, де людині можна вживати воду без попередньої обробки. У місцях водозаборів у техногенних регіонах концентрації небезпечних для здоров'я людини речовин уже наближаються до гранично допустимих, і навіть перевищують їх [14–18].

Технологічні можливості застосування традиційних хімічних схем підготовки питної води обмежені. Аналіз якості води різних регіонів України показав, що існує проблема перебільшення загальної кількості заліза у воді в основному на півночі та у центрі України. Також досить поширені на всій території країни відхилення від норм ГОСТ 2874-82 таких неорганічних показників як марганець, кальцій, магній, калій, вміст хлоридів та сульфатів, за органолептичними показниками – кольоровість, мутність, сухий залишок і жорсткість. Проблема якості води для випуску продукції існує і на заводі ТОВ «Тетерів» смт. Іванків Київської області. У той же час існують пропозиції використання водоростей для очищення стічних вод різних підприємств [19–25]. Тому мета цієї роботи – створити нові підходи до водопідготовки, що мають відповідати вимогам ресурсо- та енергозбереження.

Матеріал і методи досліджень

Для досліджень поліферментних систем синьо-зелених водоростей *Mycrocystis aeruginosa* розроблені методики та лабораторний стенд, який дозволяє регулювати оптимальну силу освітлення, перемішування суспензії, ріст клітин, проводити операції з хімічного аналізу води. На аналіз відбирали воду із заводу ТОВ «Тетерів» (свердловина № 3) смт. Іванків Київської області перед технологічною підготовкою та аналізували за органолептичними та фізико-хімічними показниками.

При проведенні досліджень використовували методи, що відповідають державним, міжнародним і галузевим стандартам. Вибір проб здійснювали згідно з ГОСТ 18963-73 [13], визначення запаху, смаку та кольору води – згідно з ГОСТ 3351-74 [3], встановлення pH води – згідно з вимогами ДСТУ 4077-2001 [16], визначення загальної жорсткості води – згідно з ГОСТ 4151-72 [4], масової концентрації загального заліза – згідно з ГОСТ 4011-72 [5], мінеральних азотумісних речовин – згідно з ГОСТ 4192-82 [6], вмісту хлоридів – згідно з ГОСТ 4245-72 [7], сульфатів – згідно з ГОСТ 4389-72 [8], нітратів – згідно з ГОСТ 18826-73 [9], кальцію та магнію – згідно з ГОСТ 23268.5-78 [10], визначення окислюваності – згідно з ГОСТ 23268.12-78 [11], визначення сухого залишку – згідно з ГОСТ 18164-72 [12].

Оцінку можливості зменшення концентрацій заліза у воді синьо-зеленими водоростями перевіряли у лабораторних умовах у скляних флаконах. У дослідях використовували альгологічно чисті водорості *Mycrocystis aeruginosa*, представлені відділом водоростей Інституту гідробіології НАН України [1; 14; 17; 19]. Методика підрахунку клітин – у рахунковій камері Горяєва. Синьо-зелені водорості культивували на мінеральному живильному середовищі Прата, яке рекомендується для одноклітинних

водоростей (KNO_3 – 0,10 г/л, K_2HPO_4 – 0,01, $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ – 0,01, $FeCl_2 \cdot 6H_2O$ – 0,001, $CaCO_3$ – 0,01 г/л). Моделювання води у лабораторних умовах до відповідності зі скважини № 3 смт. Іванків проводили додаванням надлишкової кількості заліза у середовище Прата до концентрації ($FeCl_2 \cdot 6H_2O$) 0,00066 г/л, додаванням такої ж надлишкової кількості заліза у водопровідну воду м. Київ. Змодельовану воду (45 мл) разом із відібраними водоростями вносили у скляні флакони для культивування їх з метою оцінки очищення води від заліза до встановлених норм за ГОСТ 2874-82 [2]. Скляні флакони з водоростями у подальшому використовували як біофільтри на базі альгологічно чистих *M. aeruginosa*.

Досліди з перемішування суспензії у біофільтрі проводили з використанням магнітної мішалки (при 500 об./хв). Освітлювання культури водоростей забезпечувалося денним світлом або люмінесцентними лампами у 40 Вт (освітленість складала 9000 Лк), тривалість освітлення змінювали залежно від умов експериментів, культивували водорості при кімнатній температурі. Морфологічні властивості *M. aeruginosa* під час очищення води у біофільтрі від заліза розглядали під світлооптичним мікроскопом ЛОМОМІКМЕД 1 при збільшенні $\times 400$. Аналізували воду для технологічних потреб лікєро-горілчаного заводу ТОВ «Тетерів» зі свердловин № 1, 2, 3 смт. Іванків Київської області. На аналіз відбирали воду перед технологічною водопідготовкою та аналізували за органолептичними, фізико-хімічними показниками.

Результати та їх обговорення

Якість води у свердловинах № 1 і 2 відповідає ГОСТ 2874-82 (табл.).

Таблиця

Фізико-хімічні показники води з артезіанських свердловин смт. Іванків Київської області

Найменування показників	Місце взяття аналізу, № свердловин			Норми ГОСТ 2874-82
	1	2	3	
Запах, бали ($t = 20$ °C)	1	1	2	2
Запах, бали ($t = 60$ °C)	1	1	2	2
Кольоровість, градуси	2	2	60	20
Мутність, мг/дм ³	0,2	0,3	0,1	1,5
Сухий залишок, мг/дм ³	125	385	572	100–1000
pH	6,2	6,3	6,2	6,0–9,0
Жорсткість, мг-екв./дм ³	0,02	5,3	5,0	1,5–7,0
Лужність, мг-екв./дм ³	1,6	6,0	6,4	0,5–6,5
Окислюваність перманганатна, г O_2 /дм ³	1,0	1,0	0,8	4,0
Азот амонійний, мг/дм ³	0,05	0,30	0,09	1,50
Залізо загальне, мг/дм ³	0,01	0,12	0,60	0,30
Калій, мг/дм ³	0,5	12,0	65,6	–
Натрій, мг/дм ³	38,0	38,0	38,0	200,0
Кальцій, мг/дм ³	58,0	66,0	60,0	50,0–70,0
Магній, мг/дм ³	22,0	24,0	24,0	10,0–80,0
Нітриги, мг/дм ³	0,04	0,02	0,40	0,50
Нітрати, мг-екв./дм ³	1,2	1,0	1,7	45,0
Сульфати, мг/дм ³	12,0	33,0	0,1	500,0
Хлориди, мг/дм ³	4,3	24,0	8,7	350,0

Примітки: встановлені відхилення від норм ГОСТ 2874-82 тільки у воді зі свердловини № 3 за вмістом заліза та за кольоровістю; «←» – показник не аналізується.

Свердловина № 3 на підприємстві не працює. Аналіз її води показав перевищення ГОСТ 2874-82 за такими параметрами: вміст загального заліза та кольоровість. Ми-

нулий досвід працівників підприємства підтверджує недоброякісні властивості води. Навіть після водопідготовки для технологічних потреб і подальшого використання для приготування лікєро-горілочаних настоїв у готовій продукції з'являлося помутніння, осад, а іноді й непріємний запах. Існуючі на підприємстві фізико-хімічні методи іноді не дозволяють виконати доброякісну підготовку води.

Клітини водоростей здатні акумулювати з води різні хімічні елементи, причому коефіцієнти їх накопичення для певних сполук можуть бути достатньо високими. Тому ми запропонували для поліпшення якості води використовувати біофільтри на біологічній основі з альгологічно чистих синьо-зелених водоростей *M. aeruginosa*. Воду свердловини № 3 заводу ТОВ «Тетерів» смт. Іванків Київської області спочатку моделювали за концентрацією заліза у середовищі Прата. Результати експерименту зі зменшення концентрації заліза у середовищі Прата (контроль) та у середовищі Прата з надлишковим вмістом заліза, як у воді свердловини № 3, переконливі (рис. 1а). Початкова кількість заліза у середовищі Прата менша, ніж у воді за стандартом ГОСТ 2874-82. Залізо як хімічний елемент живильного середовища для вирощування водоростей має бути обов'язково присутнім. Масова концентрація заліза у середовищі Прата з надлишковим вмістом заліза зменшується до норми за стандартом ГОСТ 2874-82 за 6 діб культивування водоростей при початковій заданій їх концентрації 1 800 кл./мл середовища. При подальшому спостереженні, концентрація загального заліза у воді продовжувала знижуватись. На рисунку 1б показано динаміку збільшення кількості клітин синьо-зелених водоростей під час очищення води від надлишків заліза.

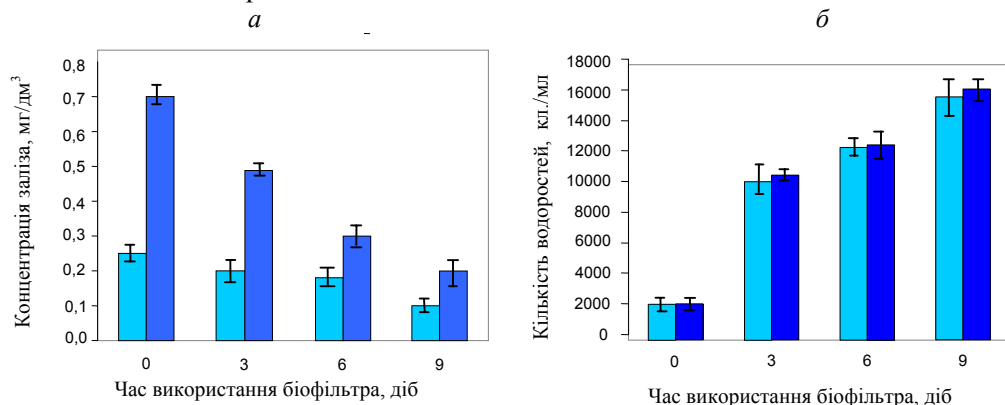


Рис. 1. Зміна масової концентрації заліза (а) та кількості клітин водоростей (б) у середовищі біофільтра: 0 – вихідні дані; ■ – модельована вода, середовище Прата з підвищеним умістом заліза; □ – контроль, середовище Прата

При культивуванні *M. aeruginosa* у біофільтрі на безазотному середовищі Прата та на водопровідній воді м. Київ із концентрацією заліза як у свердловині № 3 заводу ТОВ «Тетерів» також спостерігалось зменшення концентрації заліза (рис. 2а) до норми за стандартом ГОСТ 2874-82 і накопичення біомаси водоростей (рис. 2б).

Відбувається кореляція між збільшенням кількості клітин водоростей і зменшенням концентрації заліза у біофільтрі (див. рис. 1, 2), причому кількість синьо-зелених водоростей у перші три доби їх культивування збільшилась більше ніж у 4,5 раза. При подальшому культивуванні водоростей їх кількість збільшилася у 1,3 раза. Отримані дані також указують, що ці процеси у біофільтрі взаємопов'язані, клітини водоростей можуть очищати воду у біофільтрі від надлишкових концентрацій заліза до вста-

новленої концентрації за ГОСТом для питної води. Причому морфологія клітин водоростей у воді не змінювалася під час експерименту протягом 6 діб.

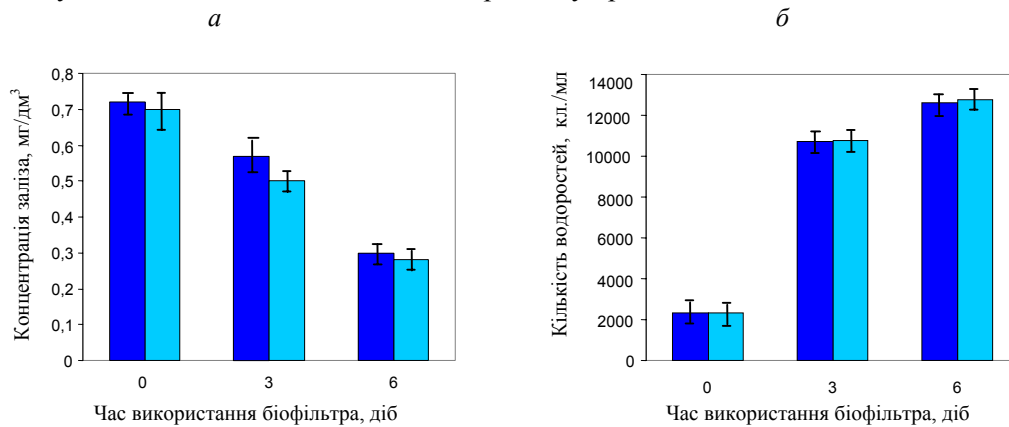


Рис. 2. Зміна масової концентрації заліза (а) та кількості клітин водоростей (б) у воді біофільтра: 0 – вихідні дані, ■ – модельована вода свердловини № 3 ТОВ «Тетерів» (водопровідна вода з концентрацією заліза як у свердловині), ▨ – контроль, беззотне середовище Прата з концентрацією заліза, як у свердловині

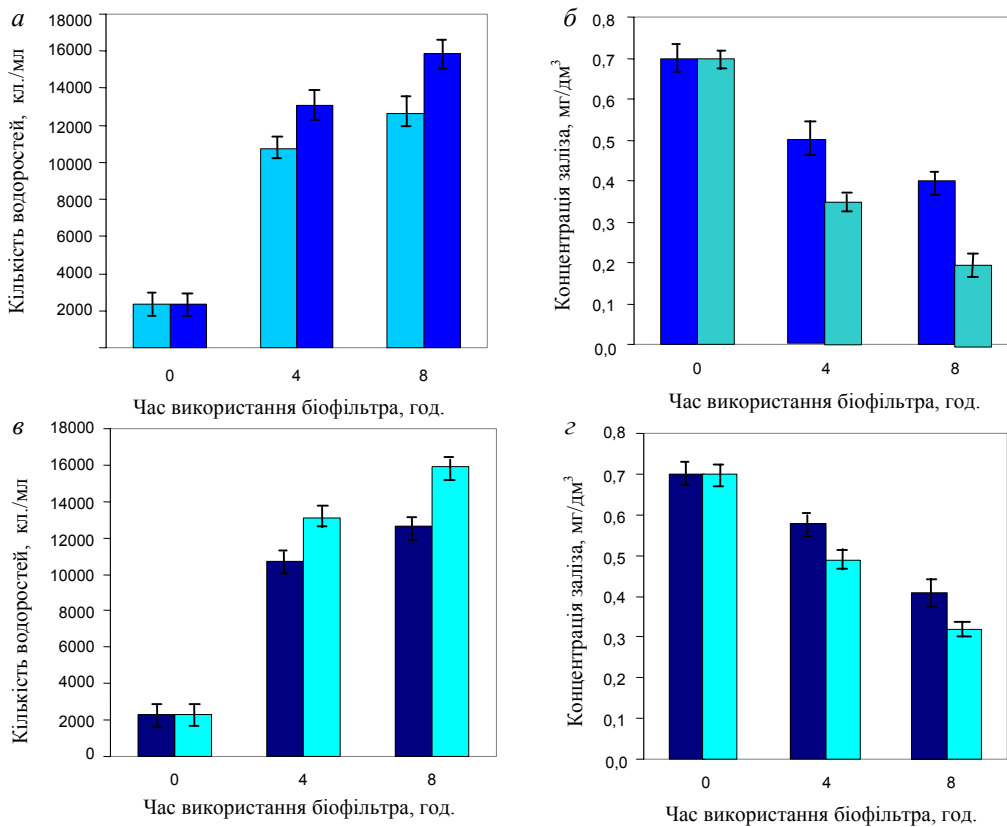


Рис. 3. Зміна фізіологічної активності водоростей у біофільтрі при очищенні води від заліза залежно від перемішування (а, б) та освітлення (в, г): 0 – вихідні дані: концентрація заліза (б, г), кількість водоростей (а, в); ■ – без перемішування, ▨ – безперервне перемішування; ▨ – безперервне освітлення, ■ – освітлення відсутнє

Організація перемішування (рис. 3а, б) та безперервного освітлення (рис. 3в, г) у біофільтрі сприяє інтенсифікації процесів очищення води від заліза (рис. 3б, г) та зростанню кількості клітин водоростей (рис. 3а, в). У заводських умовах тривалий підготовчий процес не доцільний з економічних причин. Тому вирішили перевірити можливість очищення води при підвищеній концентрації водоростей. При концентрації клітин водоростей у біофільтрі $5,8 \times 10^4$ кл./мл води спостерігали зниження загальної кількості заліза у модельованій воді до норм ГОСТ 2874-82 за одну добу.

Таким чином, експериментально доведено можливість при підготовці питної води проводити очищення води у біофільтрі від надлишків заліза, використовуючи альгологічно чисті синьо-зелені водорості *M. aeruginosa*.

Висновки

Збільшення кількості клітин *M. aeruginosa* при створенні умов роботи біофільтра при очищенні води від низьких концентрацій заліза вказує на те, що кількість ферментних систем збільшується, як і їх активність. Морфологічні ознаки клітин водоростей під час очищення води від заліза у біофільтрі не змінюються. Експериментально встановлена можливість використання синьо-зелених водоростей у біофільтрі для зниження низьких концентрацій загального заліза у воді до значень, що відповідають вимогам ГОСТ 2874-82.

Бібліографічні посилання

1. **Величко И. М.** Экологическая физиология зеленых нитчатых водорослей. – К. : Наук. думка, 1982. – 196 с.
2. **Вода питьевая.** Гигиенические требования и контроль за качеством: ГОСТ 2874-82. – [Введ. 1982-01-01]. – М. : Изд-во стандартов, 1982. – 5 с.
3. **Вода питьевая.** Методы определения вкуса, запаха, цветности и мутности: ГОСТ 3351-74. – [Введ. 1975-07-01]. – М. : Изд-во стандартов, 1974. – 8 с.
4. **Вода питьевая.** Метод определения общей жесткости: ГОСТ 4151-72. – [Введ. 1972-10-09]. – М. : Изд-во стандартов, 1972. – 7 с.
5. **Вода питьевая.** Методы измерения массовой концентрации общего железа: ГОСТ 4011-72. – [Введ. 1972-10-09]. – М. : Изд-во стандартов, 1972. – 12 с.
6. **Вода питьевая.** Метод определения минеральных азотсодержащих веществ: ГОСТ 4192-82. – [Введ. 1982-01-25]. – М. : Изд-во стандартов, 1982. – 10 с.
7. **Вода питьевая.** Метод определения содержания хлоридов: ГОСТ 4245-72. – [Введ. 1972-10-09]. – М. : Изд-во стандартов, 1972. – 6 с.
8. **Вода питьевая.** Метод определения содержания сульфатов: ГОСТ 4389-72. – [Введ. 1972-11-28]. – М. : Изд-во стандартов, 1972. – 8 с.
9. **Вода питьевая.** Методы определения содержания нитратов: ГОСТ 18826-73. – [Введ. 1973-05-25]. – М. : Изд-во стандартов, 1973. – 8 с.
10. **Воды минеральные** питьевые лечебные, лечебно-столовые и природные столовые. Методы определения ионов кальция и магния: ГОСТ 23268.5-78. – [Введ. 1980-01-01]. – М. : Изд-во стандартов, 1979. – 11 с.
11. **Воды минеральные** питьевые лечебные, лечебно-столовые и природные столовые. Метод определения перманганатной окисляемости: ГОСТ 23268.12-78. – [Введ. 1980-01-01]. – М. : Изд-во стандартов, 1979. – 4 с.
12. **Вода питьевая.** Метод определения содержания сухого остатка: ГОСТ 18164-72. – [Введ. 1972-10-06]. – М. : Изд-во стандартов, 1972. – 3 с.
13. **Вода питьевая.** Отбор проб: ГОСТ 24481-80. – [Введ. 1980-12-29]. – М. : Изд-во стандартов, 1980. – 5 с.

14. **Голлербах М. М.** Распространенность водорослей в современных водоемах, их биомасса и продукция. – М. : Просвещение, 1977. – 364 с.
15. **Гончарук В. В.** Экологические аспекты современных технологий охраны водной среды. – К. : Наук. думка, 2005. – 375 с.
16. **Гумбатова Т. Ф.** Биохимическая очистка сточных вод сахарных заводов / Т. Ф. Гумбатова, О. В. Демидов // Сахарная промышленность. – 1978. – № 7. – С. 6–11.
17. **Дедусенко-Щеголева Н. Т.** Зеленые водоросли / Н. Т. Дедусенко-Щеголева, А. М. Матвиенко. – М. : Просвещение, 1959. – 231 с.
18. **Журба М. Г.** Современное состояние и перспективы биологической очистки природных вод. – М. : ВНИИНТПИ, 2006. – 72 с.
19. **Масюк Н. П.** Водорості в системі органічного світу. – К. : Академперіодика, 2002. – 178 с.
20. **Biffel W.** Versuch zur Reinigung von Pulpenpre Oasser aus Zuckerfabriken / W. Biffel, K. Pinz // Zeitschrift fur die Zuckerindustrie. – 1971. – Bd. 21, N 2. – S. 69–72.
21. **Black I. G.** Microbiology: Principles and Applications. – Englewood Cliffs Prentice Hall, 1993. – 775 p.
22. **Harremoes H.** Wastewater Treatment. Biological and Chemical Processes / H. Harremoes, J. Arvin. – Germany, 1995. – 383 p.
23. **Kaiser G.** Waste water as a new raw material in the sugar industry / G. Kaiser, A. Dziengel, W. Mauch // The Sugar Journal. – 1979. – Vol. 41, N 11. – P. 13–16.
24. **Microbial Enzymes in Aquatic Environments** / Ed. R. J. Chrost. – New York, 1991. – 317 p.
25. **The Procarriotes** / A. Balovs, H. G. Truper, M. Dvorkin et al. – 2nd ed. – New York, 1992. – 126 p.

Надійшла до редколегії 21.01.2010