

№28338

2010. I

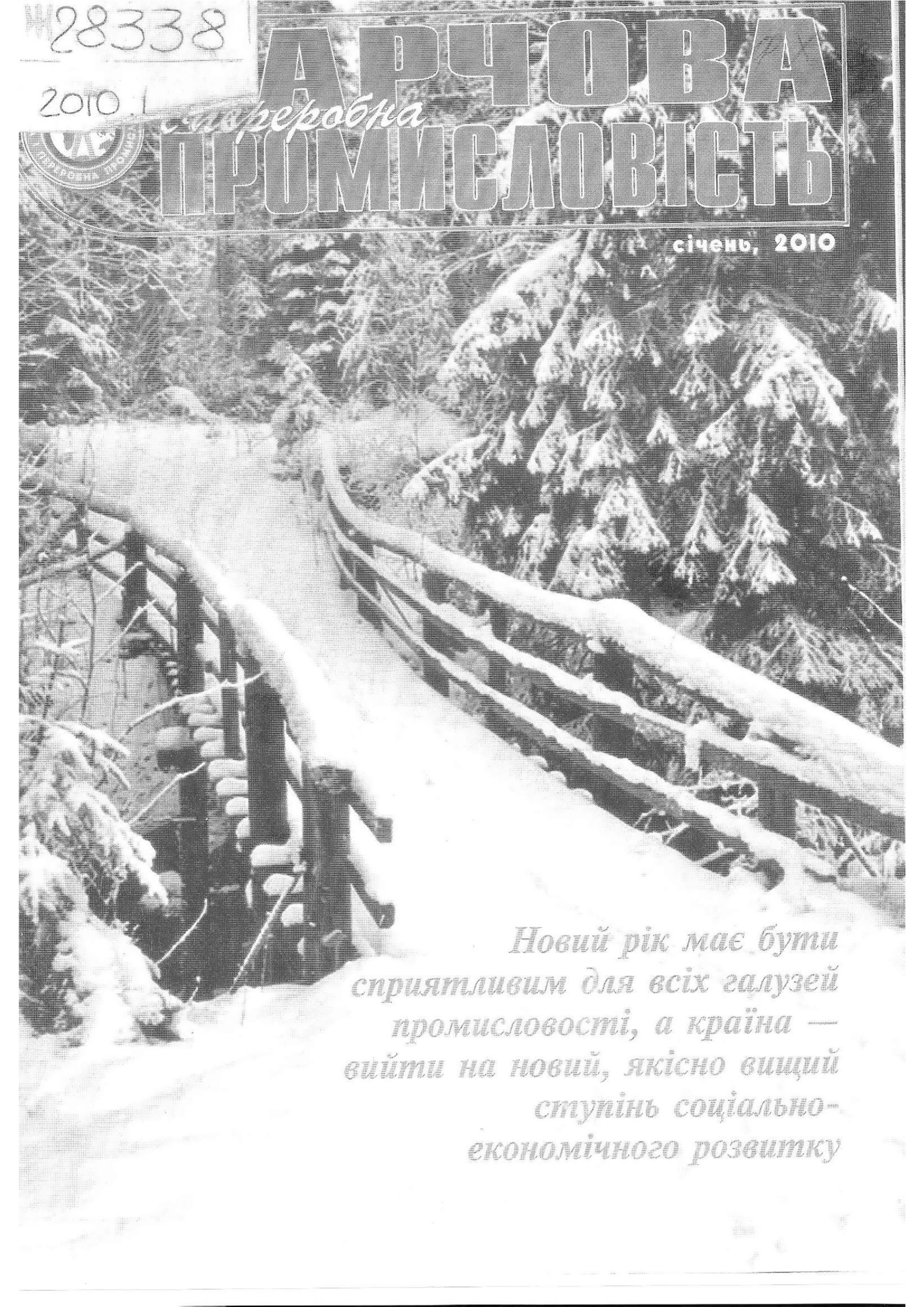


# АРЧОВА

*Деревообробна*

# ПРОМИСЛОВІСТЬ

січень, 2010



*Новий рік має бути  
сприятливим для всіх галузей  
промисловості, а країна —  
вийти на новий, якісно вищий  
ступінь соціально-  
економічного розвитку*

# СОРБЦІЯ ВАЖКИХ МЕТАЛІВ СПІРУЛІНОЮ

Дослідженнями науковців встановлено її важливу функцію щодо ртуті, свинцю, кадмію, цинку, кобальту

**А. КОТИНСЬКИЙ, А. САЛЮК,**  
кандидати технічних наук  
**Н. БАРТУШ,**  
магістр  
Національний університет  
харчових технологій

**В**СТАНОВЛЕНО, що біомаса спіруліни, насичена важкими металами, як наведено в першому випадку, загрожуватиме здоров'ю споживачів, а в другому — вона може розв'язувати екологічні проблеми, пов'язані з видаленням важких металів із стічних вод. Однак після доочищення води спіруліна не повинна містити важких металів понад регламентований вміст ГДК цих металів у харчових продуктах. Якщо вона накопичить їх більше, то таку спіруліну необхідно утилізувати, що економічно не вигідно.

Ми досліджували здатність спіруліни поглинати іони свинцю, кадмію, кобальту, ртуті та цинку, вплив їх на продуктивність спіруліни та межу її витривалості щодо цих іонів.

У процесі досліджень визначали абсолютно суху біомасу (АСБ) за допомогою вагового методу та вміст важких металів у біомасі спіруліни та у фільтраті культурального середовища за допомогою маспектрометричного методу. Для цього використовували альгологічно чисту культуру трихомної ціанобактерії *Spirulina platensis* (Gom.) Geitl. штам ЛГУ-603, взятої з колекції культур



**Вирощування спіруліни на середовищах невизначеного складу, зокрема, на мінеральній та стічних водах, може призвести до небажаних наслідків — зниження якості готової продукції через насичення біомаси іонами токсичних елементів (важких металів), які спіруліна може поглинути із середовища культивування. Водночас спіруліну можна використовувати для доочищення стічних вод, забруднених важкими металами.**

Інституту ботаніки імені М.Г.Холодного НАН України.

Процес культивування проводили в накопичувальному режимі впродовж 240 год. (10 діб) з фотоперіодом 12 год. за добу у вертикальній трубчастій установці з повітряним перемішуванням. Рівень освітлення культури підтримували в межах від 8,0 до 8,5 кЛк, температуру — від 26 до 30°C. Початкова густина спіруліни в культуральному середовищі — 0,13 г АСБ/л.

Продуктивність спіруліни, що вирощували без внесення солей металів за тих самих умов освітленості й температури, становила 0,87 гАСБ/л (контроль). Солі металів ( $Pb(NO_3)_2$ ;  $CdSO_4 \cdot 8H_2O$ ;  $Co(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$ ;  $Hg(NO_3)_2 \cdot H_2O$ ;  $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$ ) вносили одноразово на початку культивування.

У результаті досліджень встановлено, що спіруліна здатна поглинати до 51,7% іонів свинцю, внесених у культуральне середови-

Ефективність поглинання свинцю клітинами спіруліни залежно від внесеної дози

Таблиця 1.

Показники (після 10 діб культивування)	Початкова концентрація свинцю в культуральному середовищі			
	50,0 мкМ	100,0 мкМ	150,0 мкМ	200,0 мкМ
	10,35 мг $Pb^{2+}$ /л	20,70 мг $Pb^{2+}$ /л	31,05 мг $Pb^{2+}$ /л	41,40 мг $Pb^{2+}$ /л
Вміст $Pb^{2+}$ в спіруліні, мг	4,35	10,70	16,05	19,40
Вміст $Pb^{2+}$ в спіруліні, мг/АСБ	2,36	6,01	9,22	11,69
Поглинання $Pb^{2+}$ клітинами спіруліни, %*	42,0	51,7	51,7	46,9
Вміст $Pb^{2+}$ в культуральному середовищі, мг/л	6,0	10,0	15,0	22,0
Залишок $Pb^{2+}$ в культуральному середовищі, %*	58,0	48,3	48,3	53,1
Продуктивність культури, гАСБ/л через 10 діб	0,92	0,89	0,87	0,83

\* — від внесеної дози свинцю

## Ефективність поглинання кадмію клітинами спіруліни залежно від внесеної дози

Таблиця 2.

Показники (після 10 діб культивування)	Початкова концентрація кадмію в культуральному середовищі			
	31,0 мкМ 3,47мг Cd <sup>2+</sup> /л	62,0 мкМ 6,94мг Cd <sup>2+</sup> /л	124,0 мкМ 13,89мг Cd <sup>2+</sup> /л	248,0 мкМ 27,78мг Cd <sup>2+</sup> /л
Вміст Cd <sup>2+</sup> в спіруліні, мг	1,67	3,34	5,49	10,78
Вміст Cd <sup>2+</sup> в спіруліні, мг/АСБ	1,07	1,67	2,86	6,125
Поглинання Cd <sup>2+</sup> клітинами спіруліни, %*	48,2	48,2	39,5	38,8
Вміст Cd <sup>2+</sup> в культуральному середовищі, мг/л	1,8	3,6	8,4	17,0
Залишок Cd <sup>2+</sup> в культуральному середовищі, %*	51,8	51,8	60,5	61,2
Продуктивність культури, г/л через 10 діб	0,78	1,0	0,96	0,88

\* — від внесеної дози кадмію

ще (табл. 1). Так, при доданні в культуральне середовище 50,0 мкМ свинцю спіруліна поглинала до 42% від внесеної кількості, а при 100,0–150,0 мкМ — вже 51,7%.

У процесі дослідження ростових характеристик спіруліни залежно від вмісту солей свинцю в середовищі культивування встановлено, що вона не витримує концентрацій свинцю понад 300–400 мкМ і гине вже через добу. За концентрації до 200 мкМ ріст спіруліни майже не пригнічувався, хоча відбувалося поступове зниження продуктивності культури з 0,92 до 0,83 г АСБ/л і збільшувалася концентрація іонів свинцю в культуральному середовищі з 50,0 до 200,0 мкМ.

Проведені дослідження показали також, що спіруліна здатна поглинати від 38,8 до 48,2% іонів кадмію (табл.2). При внесенні в культуральне середовище 31,0–62,0 мкМ кадмію спіруліна поглинала до 48,2% його від внесеної кількості, при більшій концентрації — 124,0–248,0 мкМ — вже лише 39,5–38,8% відповідно, що майже на 18,5% менше, ніж за менших концентрацій (31,0–62,0 мкМ).

Встановлено, що з підвищенням концентрації кадмію в середовищі культивування з 31,0 до 62,0 мкМ продуктивність спіруліни збільшується на 28%. Крім того, дослідження показали, що спіруліна не витримує концентрацій кадмію більше як 350 мкМ. За цих концентрацій вона гине через добу.

Спіруліна характеризується досить низькою здатністю до поглинання кобальту. Максимальне поглинання його на рівні 15,9–16,7% відбувається при концентраціях кобальту 25,0–35,0 мкМ (табл. 3). При низьких концентраціях його в середовищі культивування (до 15,0 мкМ) спіруліна поглинає лише 9,6% від внесеної кількості кобальту. Із збільшенням концентрації його до 25,0–35,0 мкМ поглинання зростає відповідно на 65,6 та 74,0%. При найбільшій з досліджених концентрацій кобальту (55,0 мкМ) поглинання його спіруліною становило 14,0%, що майже на 45,0% більше, ніж при 15,0 мкМ.

Дослідження продуктивності спіруліни залежно від вмісту кобальту в середовищі культивування показало, що підвищення концентрації кобальту до 55,0 мкМ

майже не впливає на продуктивність культури. Відмічено, що спіруліна здатна витримувати досить значні концентрації кобальту (до 80,0 мкМ) без значного зменшення продуктивності культури.

Дослідивши вплив ртуті на спіруліну, встановили, що вона витримує досить незначні концентрації цього металу в середовищі культивування (табл. 4). При концентрації іонів ртуті в середовищі понад 0,33 мкМ спіруліна гинула повністю вже через одну годину.

При найменшій з досліджених концентрацій ртуті — 0,1 мкМ спостерігалась продуктивність спіруліни на рівні 0,89 гАСБ/л. Подальше збільшення вмісту ртуті до 0,25мкМ зменшувало продуктивність на 25%. Рівень поглинання іонів ртуті клітинами спіруліни при концентраціях цього металу до 0,25 мкМ був досить високим і змінювався в межах 95,6–97,6%.

Отже, спіруліна здатна поглинати до 97,6% від внесеної кількості іонів ртуті у середовище культивування, однак витримує досить незначну концентрацію — до 0,33 мкМ.

Встановлено також, що із збільшенням концентрації цинку в се-

## Ефективність поглинання кобальту клітинами спіруліни залежно від внесеної дози

Таблиця 3.

Показники (після 10 діб культивування)	Початкова концентрація кобальту в культуральному середовищі			
	15,0 мкМ 0,885мг Co <sup>2+</sup> /л	25,0 мкМ 1,475мг Co <sup>2+</sup> /л	35,0 мкМ 2,065мг Co <sup>2+</sup> /л	55,0 мкМ 3,245мг Co <sup>2+</sup> /л
Вміст Co <sup>2+</sup> в спіруліні, мг	0,085	0,235	0,342	0,455
Вміст Co <sup>2+</sup> в спіруліні, мг/АСБ	0,044	0,117	0,186	0,255
Поглинання Co <sup>2+</sup> клітинами спіруліни, %*	9,6	15,9	16,7	14,0
Вміст Co <sup>2+</sup> в культуральному середовищі, мг/л	0,80	1,24	1,72	2,79
Залишок Co <sup>2+</sup> в культуральному середовищі, %*	90,4	84,1	83,3	86,0
Продуктивність культури, г/л через 10 діб	0,97	1,0	0,92	0,89

\* — від внесеної дози кобальту

Ефективність поглинання ртуті клітинами спіруліни залежно від внесеної дози

Таблиця 4.

Показники (після 10 діб культивування)	Початкова концентрація ртуті в культуральному середовищі			
	0,10 мкМ	0,15 мкМ	0,20 мкМ	0,25 мкМ
	0,02 мг Hg <sup>2+</sup> /л	0,03 мг Hg <sup>2+</sup> /л	0,04 мг Hg <sup>2+</sup> /л	0,05 мг Hg <sup>2+</sup> /л
Вміст Hg <sup>2+</sup> в спіруліні, мг	0,01912	0,02907	0,03904	0,0488
Вміст Hg <sup>2+</sup> в спіруліні, мг/АСБ	0,01074	0,01773	0,02674	0,03642
Поглинання Hg <sup>2+</sup> клітинами спіруліни, %*	95,6	96,9	97,6	97,6
Вміст Hg <sup>2+</sup> в культуральному середовищі, мг/л	0,00088	0,00093	0,00096	0,0012
Залишок Hg <sup>2+</sup> в культуральному середовищі, %*	4,4	3,1	2,4	2,4
Продуктивність культури, г/л через 10 діб	0,89	0,82	0,73	0,67

\* — від внесеної дози ртуті

редовищі культивування сорбцій-здатність спіруліни збільшується й водночас зменшується продуктивність культури (табл. 5). Так, при збільшенні концентрації цинку в середовищі з 150 до 200 мкМ поглинання його клітинами спіруліни зросло з 13,5 до 14,8%, однак продуктивність культури знижувалась на 35%.

Подальше збільшення концентрації цинку до 250–300 мкМ призводило до різкого збільшення сорбції цинку (до 26,5–32,8%) й пінення майже 50% культури. При цьому найшвидше цинк адсорбувався на поверхні відмерлих клітин спіруліни. Таким чином, спіруліна здатна поглинати до 13,5% від внесеної кількості цинку (до 150 мкМ) без пригнічення росту культури.

**З усіх досліджених металів спіруліна, отже, найкраще сорбує іони ртуті.** Вона здатна поглинати 95,9–97,6% від внесеної кількості цих іонів у середовище культивування. При концентрації їх у середовищі культивування до 0,25 мкМ (0,05 мг Hg<sup>2+</sup>/л) відбувається поступове зниження продуктивності спіруліни порівняно з контролем на 23%. При концентрації іонів ртуті у середовищі понад 0,33 мкМ

(0,066 мг Hg<sup>2+</sup>/л) відбувається швидкий лізис культури. Тож спіруліну можна використовувати для видалення іонів ртуті із стічних вод, в яких концентрація ртуті перевищує встановлену ГДК (0,0005 мг Hg<sup>2+</sup>/л) не більше як у 5 разів.

Спіруліна сорбує свинець і кадмій майже вдвічі гірше, ніж іони ртуті, відповідно 42,0–51,7% та 38,8–48,2% від внесеної кількості цих металів. Проте, порівняно з іонами ртуті, ці метали не пригнічують ріст спіруліни, а у випадку з кадмієм продуктивність культури при концентраціях цього металу в межах 62,0–124,0 мкМ (6,94–13,89 мг Cd<sup>2+</sup>/л) порівняно з контролем збільшується на 12%. Спіруліна здатна витримувати високі концентрації свинцю — до 200 мкМ (41,4 мг Pb<sup>2+</sup>/л) і кадмію — до 250 мкМ (28,0 мг Cd<sup>2+</sup>/л) без зниження продуктивності культури, що відповідно у 1380 та 28000 разів перевищує встановлені для цих металів ГДК (відповідно 0,03 та 0,001 мг/л). Тобто спіруліну можна використовувати для доочищення стоків із значними концентраціями свинцю й кадмію.

До цинку спіруліна виявила певні особливості росту й сорбції цього металу. Мертві клітини спіруліни

ефективніше сорбували іони цинку, ніж живі. Так, при концентраціях цинку до 150 мкМ (9,81 мг Zn<sup>2+</sup>/л) у спіруліни була найбільша продуктивність порівняно з іншими дослідженими металами, проте вона поглинала лише 13,5% від внесеної кількості цинку. Із збільшенням концентрації цинку до 300 мкМ (19,62 мг Zn<sup>2+</sup>/л) відбувався лізис до 50% культури з одночасним збільшенням сорбції цього металу до 32,8%. Тож спіруліну можна використовувати для доочищення стічних вод від іонів цинку, концентрація яких перевищує встановлену для цього металу ГДК (5 мг/л) у 4 рази.

З усіх досліджених металів спіруліна характеризувалася дуже низькою здатністю до поглинання іонів кобальту, але високою продуктивністю. Максимальне поглинання кобальту на рівні 15,9–16,7% відбувалося при концентраціях цього металу в межах 25,0–35,0 мкМ (1,47–2,06 мг Co<sup>2+</sup>/л).

За результатами досліджень побудовано ізотерму адсорбції свинцю, ртуті, кадмію, кобальту та цинку клітинами спіруліни. Адсорбція цих металів клітинами спіруліни відбувається в напрямку Hg >> Pb > Cd > Zn > Co.

Ефективність поглинання цинку клітинами спіруліни залежно від внесеної дози

Таблиця 5.

Показники (після 10 діб культивування)	Початкова концентрація цинку в культуральному середовищі			
	150,0 мкМ	200,0 мкМ	250,0 мкМ	300,0 мкМ
	9,81 мг Zn <sup>2+</sup> /л	13,08 мг Zn <sup>2+</sup> /л	16,35 мг Zn <sup>2+</sup> /л	19,62 мг Zn <sup>2+</sup> /л
Вміст Zn <sup>2+</sup> в спіруліні, мг	1,32	1,93	4,33	6,43
Вміст Zn <sup>2+</sup> в спіруліні, мг/АСБ	0,62	1,40	3,49	6,56
Поглинання Zn <sup>2+</sup> клітинами спіруліни, %*	13,5	14,8	26,5	32,8
Вміст Zn <sup>2+</sup> в культуральному середовищі, мг/л	8,49	11,15	12,02	13,19
Залишок Zn <sup>2+</sup> в культуральному середовищі, %*	86,5	85,2	73,5	67,2
Продуктивність культури, г/л через 10 діб	1,06	0,69	0,62	0,49

\* — від внесеної дози цинку