

**АКУМУЛЯЦІЯ ІОНІВ ВАЖКИХ МЕТАЛІВ КЛІТИНАМИ
CHLOROBIVM LIMICOLA ІМВ К-8 ТА ЇХНІ ЦИТОМОРФОЛОГІЧНІ ЗМІНИ
ЗА ВПЛИВУ КАДМІЙ СУЛЬФАТУ**

І. Кушкевич, С. Гнатуш, О. Кулачковський

*Львівський національний університет імені Івана Франка
вул. Грушевського, 4, Львів 79005, Україна
e-mail: Ivan_Kushkevych@ukr.net*

Встановлено, що клітини зелених сіркобактерій *Chlorobium limicola* ІМВ К-8 здатні акумулювати Cu^{2+} , Pb^{2+} і Cd^{2+} . Акумуляція іонів важких металів залежить від їхньої концентрації в середовищі. Досліджено цитоморфологічні зміни клітин фототрофних зелених сіркобактерій *C. limicola* ІМВ К-8 за впливу різних концентрацій кадмій сульфату. Показано, що 1,5–2,0 мМ CdSO_4 спричиняє зміни структури цитоплазматичної мембрани та її відшарування від клітинної стінки. Цитоплазма за цих умов була ущільнена, нагромаджувались електроннощільні речовини. Збільшення концентрації солі Кадмію до 2,5 мМ спричинило розпадання ланцюгоподібних угруповань клітин *C. limicola* ІМВ К-8.

Ключові слова: фототрофи, зелені сіркобактерії, токсичність, іони Кадмію, морфологія.

У місцях сіркодобувних кар'єрів часто виникає складна екологічна ситуація, обумовлена порушенням процесів кругообігу сірки. Екологічна проблема виникла на місці колишнього Яворівського сірчаного кар'єру у зв'язку з припиненням його роботи. Цей кар'єр після наповнення водами річок, що протікають через його територію, підземними водами, а також опадами, перетворили на озеро з метою створення природно-рекреаційної зони [3]. Виникла необхідність оцінити можливості біологічного окиснення сірководню фотосинтезувальними бактеріями, а також перспективи відновлення рівноваги сполук сірки даного району природним шляхом.

З 2000 р. кафедра мікробіології Львівського національного університету імені Івана Франка розпочала роботи з вивчення мікроорганізмів водойм родовища, які забезпечують перетворення сполук Сульфуру. Показано, що висока концентрація сульфатів і наявність органічних речовин, які надходять із водами річок, сприяють розвитку сульфатвідновлювальних бактерій, продуктом життєдіяльності яких є сірководень. Останній є токсичною сполукою і створює серйозну екологічну небезпеку [1, 2].

Завдяки діяльності зелених сіркобактерій, що використовують сірководень як донор електронів, водойми очищуються від нього [14]. Фотосинтезувальні сіркобактерії, які населяють глибинні ділянки водойм, не дають цій сполуці поширюватись у верхні шари води, що забезпечує можливість розвитку там багатьох рослинних і тваринних організмів [17].

Результати аналізу вмісту у воді іонів важких металів, зокрема Cd^{2+} , Pb^{2+} та Cu^{2+} , протягом кількох останніх років показали їхнє швидке нагромадження у придонних відкладах, що призводить до порушень функціонування мікробіоценозів, які населяють цю водойму [6].

Відомо, що іони важких металів у концентрації 1–2 мМ негативно впливають на клітини мікроорганізмів [5]: порушують фотосинтез, цілісність мембран, процеси трансляції [13], структуру та функціонування багатьох ферментів [15, 16].

Іони металів можуть нагромаджуватися всередині клітин. Описано внутрішньоклітинне нагромадження іонів Аргентуму, Цинку, Кобальту, Кадмію [16, 20]. Нагромадження іонів металів усередині клітин забезпечується функціонуванням систем як активного, так і пасивного транспорту. Встановлено, що найбільша акумуляція відбувається в перші години взаємодії клітин бактерій з іонами металів [8, 9].

У літературі немає даних про акумуляцію іонів важких металів фотосинтезувальними аноксигенними зеленими сіркобактеріями, а також про їх вплив на цитоморфологічні зміни *C. limicola* IMB K-8.

Метою роботи було дослідити здатність клітин *C. limicola* IMB K-8 акумулювати іони важких металів, а також визначити можливість цитоморфологічних змін їхніх клітин за впливу Cd^{2+} .

Матеріали та методи досліджень

Фототрофні зелені сіркобактерії *Chlorobium limicola* IMB K-8, виділені з води Яворівського озера, ідентифіковані на кафедрі мікробіології Львівського національного університету імені Івана Франка і задепоновані у Депозитарії Інституту мікробіології та вірусології ім. Д. К. Заболотного НАН України [4, 11].

Бактерії вирощували за анаеробних умов при температурі $+25 \dots +28^\circ C$ у середовищі GSB [18]. Освітленість становила 40 лк, забезпечувалася лампою розжарювання потужністю 60 Вт і була цілодобовою. Значення рН середовища було нейтральним (рН~7,0) [4].

Для дослідження здатності акумулювати іони важких металів, клітини бактерій відбирали на середині експоненційної фази росту, інкубували протягом 3 годин у середовищі GSB з різними концентраціями (0,5; 1,0; 1,5; 2,0 та 2,5 мМ) $CuSO_4$, $CdSO_4$ чи $Pb(NO_3)_2$ та відмивали 0,9% NaCl. У контрольний варіант солі металу не вносили.

Для отримання безклітинних екстрактів відмиті клітини переносили в 0,1 М калійфосфатний буфер (рН 7,5) і руйнували на ультразвуковому гомогенізаторі УЗДН-2Т при 22 кГц протягом 5 хв при $0^\circ C$. Уламки клітин відокремлювали центрифугуванням при 12–15 тис. об/хв при $4^\circ C$ упродовж 30 хв.

Концентрацію поглинутих іонів металів визначали у безклітинних екстрактах на іонометрі (рН-150М) за допомогою іонселективних електродів на Купрум марки ЭЛИС-131Cu, Кадмій марки ЭЛИС-131Cd та Плюмбум марки ЭЛИС-131Pb, використовуючи калібрувальні криві.

Для побудови калібрувальної кривої визначали різницю потенціалів E(mV) між іонселективним і порівняльним електродами у розчинах $CuSO_4$, $CdSO_4$ та $Pb(NO_3)_2$ з концентраціями від 0,0001 до 1 моль/л, у перерахунку на концентрацію іонів металу.

Концентрацію поглинутих іонів Купруму, Кадмію та Плюмбуму в клітинах розраховували, використовуючи пакет програм Excel, за формулами, одержаними з рівнянь калібрувальних кривих:

$$C = 10^{\frac{E-189,41}{19,866}} \quad \text{– для іонів Купруму,} \quad C = 10^{\frac{E-150,45}{19,166}} \quad \text{– для іонів Кадмію та} \quad C = 10^{\frac{E-82,49}{19,938}} \quad \text{– для іонів Плюмбуму.}$$

Знаходили основні статистичні показники за безпосередніми даними (середнє арифметичне – M; стандартна похибка середнього арифметичного – m). Для оцінки достовірності різниці між статистичними характеристиками двох альтернативних сукупностей даних обчислювали коефіцієнт Стюдента [7]. Достовірною вважалася різниця при показнику достовірності $P > 0,95$.

Статистичне опрацювання результатів проводили, використовуючи програми Excel та Origin.

З метою дослідження цитоморфологічних характеристик фотосинтезувальних сіркобактерій за впливу CdSO_4 , *C. limicola* ІМВ К-8 вирощували у середовищі за різних концентрацій (0,5; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5 мМ) солі. У контрольному варіанті солі металу додатково не вносили.

Для електронно-мікроскопічних досліджень клітини відмивали 0,9% NaCl та осаджували центрифугуванням при 10 000 об/хв 15 хв. Інтактні клітини фіксували в 1,5% водному розчині KMnO_4 упродовж 20 хв при кімнатній (+20°C) температурі. Постфіксацію проводили з використанням 1% OsO_4 у какодилатному буфері 90 хв при 0°C. Фіксовані клітини промивали, обезводнювали в розчинах зі зростаючими концентраціями етанолу й окису пропілену. Зразки переносили в епоксидну смолу Епон 812. Ультратонкі зрізи отримували на ультрамікротомі УМТП-6 і контрастували цитратом свинцю за Рейнольдсом [19].

Перегляд і фотографування зразків проводили на електронних трансмісійних мікроскопах УЕМВ-100 Б і ПЕМ-100 при прискорюючій напрузі 75 кВ. Кінцеве збільшення на мікрофотографіях – 8000 разів. Показники збільшення на електронному мікроскопі подаються з точністю до $\pm 5\%$.

Вимірювання розмірів клітин здійснювали на відбитому з негатива позитиві. Дуже малі структури (хлоросоми) вимірювали на збільшеному відбитку, враховуючи збільшення [10]. На позитиві проводили лінії розмітки, а негатив зберігали для виготовлення додаткових відбитків. Роблячи виміри паралельно на відбитку, враховували помилки при визначенні фотографувального збільшення позитиву, при друкуванні яких може позначатися неточність кінцевих результатів вимірів. Крім цього, відбиток у процесі його опрацювання може трохи зменшуватись у розмірах (стискатися).

Для вимірювання великих об'єктів (клітин) користувалися точною калібрувальною лінійкою з поділками 0,5 мм. Для вимірювання дрібних деталей користувалися спеціальним вимірювачем зі збільшувальним склом і сіткою.

Результати досліджень і їхнє обговорення

Дослідження морфології клітин фототрофних зелених сіркобактерій з використанням електронної мікроскопії показали, що виділені з водойм Яворівського родовища мікроорганізми були паличкоподібні – від прямих до зігнутих, розміром 1100–3000x4000–30000 Å. Хлоросоми, які містили фотосинтезувальні пігменти, були еліпсоподібної форми, їхні розміри становили 350–650x900–1900 Å (рис. 1). Розмноження відбувалося бінарним поділом. Клітини бактерій залишалися прикріпленими одна до одної, утворюючи ланцюжки, покриті слизом. Нерухомі. За Грамом зафарбовувались негативно. Спор не утворювали. Колонії фототрофних сіркобактерій були темно-зеленого кольору.

Показано, що досліджуваний штам містить як запасну речовину глікоген [4].

Досліджували здатність клітин зелених сіркобактерій *C. limicola* ІМВ К-8 акумулювати іони важких металів за наявності різних концентрацій солей важких металів у середовищі. Результати наших досліджень показали, що у клітинах контрольних зразків іонів досліджуваних важких металів не виявлено (рис. 2–4).

За умов інкубування клітин у середовищі з кадмій сульфатом найінтенсивнішу акумуляцію іонів металу спостерігали за концентрації 0,5 мМ протягом трьох годин. Найбільшу кількість іонів Кадмію ($0,37 \pm 0,06 \times 10^{-10}$ ммоль/г клітин) клітини *C. limicola* ІМВ К-8 акумулювали на другу годину. За високих концентрацій (1,0–2,5 мМ) солі металу акумуляція іонів металу клітинами не виявлена (рис. 2).

Можливо, це зумовлено функціонуванням системи викачування іонів металу з клітини, що є захисною реакцією за цих умов, як це показано для *S. aureus* [15].

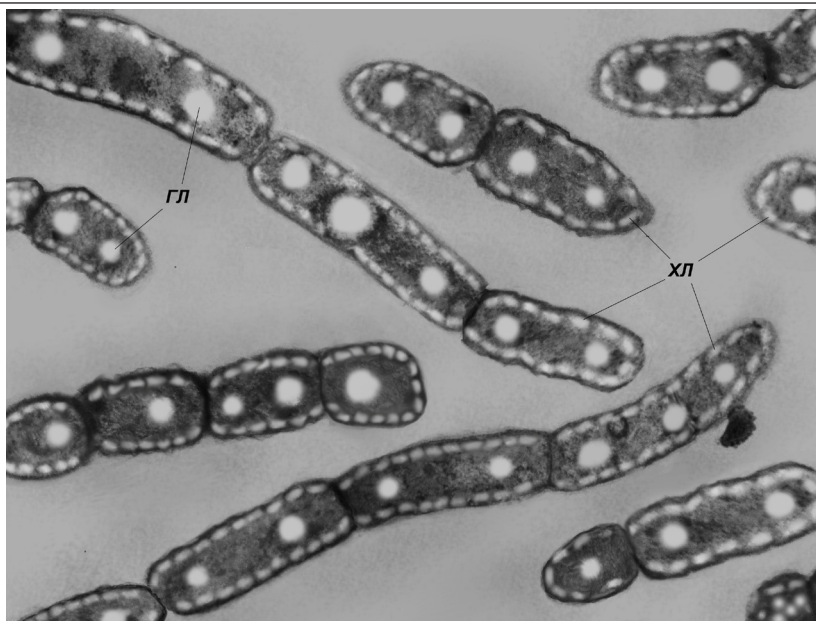


Рис. 1. Клітини *C. limicola* ІМВ К-8, вирощені у середовищі GSB: ХЛ – хлоросоми; ГЛ – глікоген (електронна мікроскопія, $\times 8\,000$).

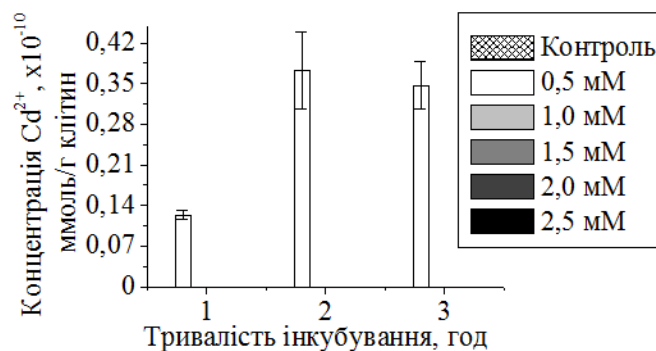


Рис. 2. Акумуляція іонів Кадмію клітинами *C. limicola* ІМВ К-8 за впливу $CdSO_4$.

Акумуляція Cu^{2+} досліджуваними бактеріями *C. limicola* ІМВ К-8 зростала зі збільшенням концентрації солі металу в середовищі інкубування, але за впливу 2,5 мМ зменшувалася протягом трьох годин (рис. 3). Максимум акумуляції Cu^{2+} ($0,10 \pm 0,02$ ммоль/г клітин) спостерігали на першу годину за найвищої досліджуваної концентрації $CuSO_4$.

Акумуляцію іонів Плюмбуму визначено лише за 1,5–2,5 мМ металу в середовищі. Бактерії *C. limicola* ІМВ К-8 акумулювали $3,69 \pm 0,42 \times 10^{-8}$ ммоль/г клітин Pb^{2+} на другу годину (рис. 4).

Акумуляцію іонів Плюмбуму, як назовні, так і всередині клітини, виявлено і у бактерій *P. fluorescens* [12, 13]. Можливо, за низьких концентрацій іони Плюмбуму та Купруму інтенсивно викачувалися із клітини специфічними системами, а за високих – їх активність була пригнічена, в результаті чого іони металу надходили у клітину, зв'язуючись із її компонентами. Є дані про вплив іонів Купруму на мембранні Na^+/K^+ -АТФази, на структуру та функції нуклеїнових кислот, синтез фосфоліпідів. При нестачі цього елемента пригні-

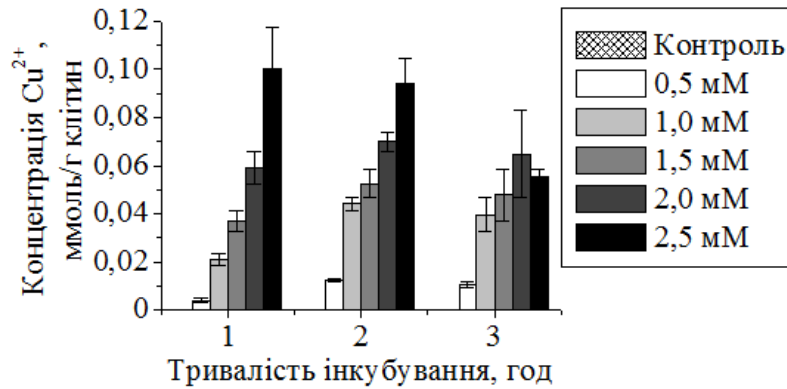


Рис. 3. Акумуляція іонів Купруму клітинами *C. limicola* ІМВ К-8 за впливу CuSO_4 .

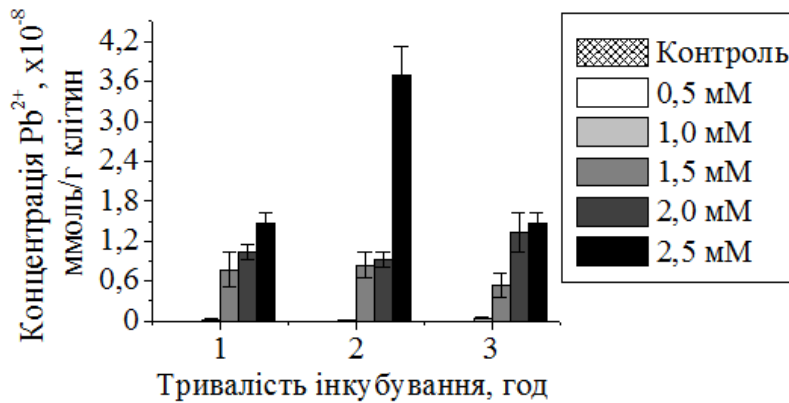


Рис. 4. Акумуляція іонів Плюмбуму клітинами *C. limicola* ІМВ К-8 за впливу $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$.

чується обмін речовин, у першу чергу в результаті порушення активності купрумвмісних ферментів [16]. Відомо, що іони Купруму необхідні для життєдіяльності зелених сіркобактерій. Їх вносять у складі суміші мікроелементів середовища GSB (у перерахунку на концентрацію Cu^{2+} – 0,012 мМ) [18]. З наших експериментів очевидно, що досліджуваним зеленим сіркобактеріям *C. limicola* ІМВ К-8 теж необхідний цей мікроелемент. Вони акумулюють Cu^{2+} найінтенсивніше протягом першої години інкубування і, ймовірно, використовують його для залучення в активні центри ферментів. На другу–третю години акумуляція дещо зменшується, очевидно, через активацію транспортних систем, які здатні викачувати з клітини надлишок цих іонів. Система транспорту іонів Купруму та резистентність до нього найкраще вивчена у грампозитивних патогенів *Enterococcus hirae*. У бактерій *E. hirae* *cop*-оперон міститься у хромосомі та складається із чотирьох генів: *copY*, *copZ*, *copA* і *copB*. Гени, які контролюють поглинання і викачування іонів Купруму (*copA* і *copB*, відповідно), виявлено в одному опероні. У ціанобактерій роду *Synechococcus* гени АТФ-аза поглинання і викачування іонів Купруму є роз'єднаними. СтаА АТФ-аза поглинання іонів Купруму в ціанобактерій розміщена у клітинній мембрані, РасS АТФ-аза викачування – у тилакоїдних фотосинтезувальних мембранах. У бактерій роду *Enterococcus* система *Cop* регулюється вмістом іонів Купруму. Якщо концентрація Cu^{2+} у клітині є низькою, активується *CopA* АТФ-аза поглинання, а при надлишку цього металу – *CopB* АТФ-аза викачування. Надмірна концентрація іонів Купруму спричиняє токсичний вплив на живі організми [5, 6, 9, 20].

Загалом, сорбція іонів металів здійснюється певними ділянками ліпополісахаридів клітинної стінки або специфічними хелатними сполуками, а можливо, визначається наявністю білка у клітинній стінці або поліфосфатами [8].

Оскільки клітини зелених сіркобактерій *C. limicola* ІМВ К-8 здатні акумулювати Cu^{2+} , Pb^{2+} та Cd^{2+} зі середовища, враховуючи дані літератури про вплив іонів важких металів на клітини, дослідили цитоморфологічні зміни в їхніх клітинах за внесення солі Кадмію.

Електронно-мікроскопічними дослідженнями показано, що внесення кадмій сульфату впливає на морфологію клітин зелених сіркобактерій *C. limicola* ІМВ К-8 (рис. 5–9). За внесення 0,5 і 1,0 мМ CdSO_4 порушується поділ, не контрастуються при фотографуванні та не помітні на зрізах хлоросоми, зменшується кількість глікогену у клітинах (рис. 5–6).

Збільшення концентрації солі Кадмію від 1,5 до 2,0 мМ викликало більш помітні зміни структури цитоплазматичної мембрани та її відшарування від клітинної стінки. Цитоплазма за цих умов ущільнена. Внесення 2,0 мМ CdSO_4 спричинило зміну структури хлоросом: вони набули темного забарвлення, зменшилися удвічі в розмірах, а деякі стали непомітними (рис. 7–8).

Продовжують нагромаджуватись електроннощільні утворення. Можливо, таке почорніння хлоросом обумовлено нагромадженням у цих фотосинтезувальних структурах іонів Кадмію, внаслідок чого відбувається порушення процесів фотосинтезу.

Подальше збільшення концентрації солі Кадмію до 2,5 мМ спричинило руйнування ланцюгоподібних угруповань клітин *C. limicola* ІМВ К-8 (рис. 9).

Вони стали поодинокими, більш округлими, набули форми, не характерної для бактерій цього роду. Також за цих умов порушувалися процеси поділу клітин бактерій.

Таким чином, внесення кадмій сульфату спричиняє цитоморфологічні зміни клітин фотосинтезувальних зелених сіркобактерій *C. limicola* ІМВ К-8.

Клітини зелених сіркобактерій *Chlorobium limicola* ІМВ К-8 здатні акумулювати зі середовища іони Cu^{2+} , Pb^{2+} та Cd^{2+} . Акумуляція іонів важких металів залежить від концентрацій їхніх солей у середовищі. Максимальна акумуляція іонів Купруму досягається за концентрації його солі в середовищі 2,5 мМ на першу годину інкубування, Пльомбуму – при 2,5 мМ на другу годину інкубування, а акумуляція іонів Кадмію відбувається за наявності



Рис. 5. Клітини *C. limicola* ІМВ К-8, вирощені в середовищі за впливу 0,5 мМ кадмій сульфату (електронна мікроскопія, x 8 000).



Рис. 6. Клітини *C. limicola* ІМВ К-8, вирощені в середовищі за впливу 1,0 мМ кадмій сульфату (електронна мікроскопія, x 8 000).



Рис. 7. Клітини *C. limicola* ІМВ К-8, вирощені в середовищі за впливу 1,5 мМ кадмій сульфату (електронна мікроскопія, x 8 000).

Рис. 8. Клітини *C. limicola* ІМВ К-8, вирощені в середовищі за впливу 2,0 мМ кадмій сульфату (електронна мікроскопія, x 8 000).

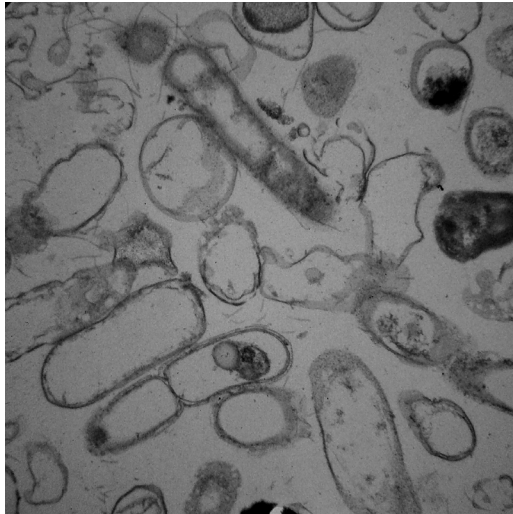
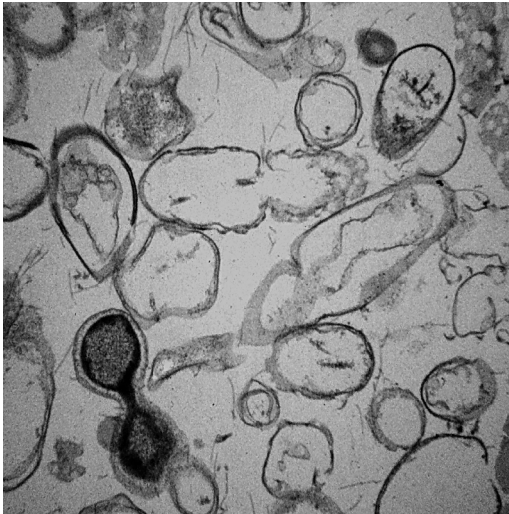


Рис. 9. Клітини *C. limicola* ІМВ К-8, вирощені в середовищі за впливу 2,5 мМ кадмій сульфату (електронна мікроскопія, x 8 000).

0,5 мМ $CdSO_4$ на другу годину. Враховуючи результати досліджень, фототрофні зелені сіркобактерії *C. limicola* ІМВ К-8 можна розглядати як перспективні для розроблення способів очищення води не лише від H_2S , а й від іонів Купруму.

Цитоморфологічні зміни фотосинтезувальних зелених сіркобактерій *Chlorobium limicola* ІМВ К-8 підтверджують дані літератури про негативний вплив іонів важких металів на клітини мікроорганізмів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Баран І., Кушкевич І., Гнатуш С., Гудзь С. Систематичне положення, фізіолого-біохімічні властивості та екологія зелених фототрофних бактерій // Вісн. Львів. ун-ту. Сер. біол. 2007. Вип.43. С. 48–60.

2. Баран І., Мороз О., Гудзь С., Гнатуш С. Метаболізм органічних сполук у зелених фототрофних сіркобактерій та утилізація ними сірководню // Вісн. Львів. ун-ту. Сер. біол. 2003. Вип. 33. С. 132–140.
3. Гайдін А. М., Зозуля І. І. Яворівське озеро / Львів: ВАТ «Інститут гірничо-хімічної промисловості», 2007. 70 с.
4. Горішний М. Б. Екологічне значення зелених сіркових бактерій в утилізації сірководню: Автореф. дис. ... канд. біол. наук. К., 2008. 20 с.
5. Іутинська Г. О., Петруша З. В., Васильєва Т. В., Сопліна О. М. Токсичність і мутагенність важких металів – забруднювачів ґрунту // Современные проблемы токсикологии. 2000. № 2. С. 53–56.
6. Кушкевич І. В. Вплив солей важких металів на фізіолого-біохімічні характеристики бактерій циклу сірки: Автореф. дис. ... канд. біол. наук. К., 2010. 20 с.
7. Лакін Г. Ф. Биометрия. М.: Высш. шк., 1990. 352 с.
8. Подгорский В. С., Касаткина Т. П., Лозовая О. Г. Дрожжи – биосорбенты тяжёлых металлов // Мікробіол. журн. 2004. Т. 66. № 1. С. 91–103.
9. Таширєв А. Б., Смирнова Г. Ф. Аккумуляция металлов синтрофными ассоциациями микроорганизмов // Мікробіол. журн. 1999. Т. 61. № 6. С. 58–65.
10. Уикли Б. Электронная микроскопия для начинающих. М.: Мир, 1975. 314 с.
11. Хоулт Дж., Криг Р., Снит П. и др. Определитель бактерий Берджи. М.: Мир, 1997. Т. 1. 426 с.
12. Aickin R. M. Lead accumulation by *Pseudomonas fluorescens* and a *Citrobacter* sp. // *Microbios Lett.* 1979. N 9. P. 55–66.
13. Al-Aoukaty A., Appanna V. D., Huang J. Exocellular and intracellular accumulation of lead in *Pseudomonas fluorescens* ATCC 13525 is mediated by the phosphate content of the growth medium // *FEMS. Microbiol. Lett.* 1991. Vol. 83. P. 283–290.
14. Blankenship R. E., Madigan M. T., Bauer C. E. Anoxygenic photosynthetic bacteria // *Advances in Photosynthesis.* Kluwer Academic Publishers, USA, 1995. 1368 p.
15. Endo G., Silver S. CadC the transcriptional regulatory protein of the cadmium resistance system of *Staphylococcus aureus* plasmid pI258 // *J. Bacteriol.* 1995. №177. P. 4437–4441.
16. Nies D. H. Microbial heavy metal resistance // *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 1999. Vol. 51. P. 730–750.
17. Overman J., Garcia-Pichel F. The phototrophic way of life. The Prokaryotes: ecophysiology and biochemistry. 3rd ed. New York: Spinger, 2007. 1107 p.
18. Overmann J. Green sulfur bacteria. New York: Springer-Verlag. 1999. P. 245–256.
19. Reynolds E. S. The use of lead citrate at high pH as an electronopaque stain in electron microscopy // *J. Cell Biol.* 1963. Vol. 17. P. 208–212.
20. Silver S., Phung L. Bacterial heavy metal resistance: New Surprises // *Annual Rev. Microbiol.* 1996. № 50. P. 753–789.

Стаття: надійшла до редакції 18.11.10

доопрацьована 11.04.11

прийнята до друку 13.04.11

THE ACCUMULATION OF HEAVY METALS IONS BY *CHLOROBIVM LIMICOLA* IMB K-8 CELLS AND THEIR CYTOMORPHOLOGICAL CHANGES UNDER THE INFLUENCE OF CADMIUM SULFATE

I. Kushkevych, S. Hnatush, O. Kulachkovskiy

*Ivan Franko National University of Lviv
4, Hrushevskiy St., Lviv 79005, Ukraine
e-mail: Ivan_Kushkevych@ukr.net*

The cells of green sulfur bacteria *Chlorobium limicola* IMB K-8 can accumulate Cu^{2+} , Pb^{2+} and Cd^{2+} . The accumulation of heavy metals depends on their concentration in the environment. The cytomorphological changes in the phototrophic green sulfur bacteria *C. limicola* IMB K-8 under the influence of different cadmium sulfate concentrations are investigated. It is shown that the addition of 1.5–2.0 mM CdSO_4 cause changes in the structure of cytoplasmic membrane and it is detachment from the cell wall. The cytoplasm under these conditions was consolidated. Electronically dense substances were accumulated. Increasing of cadmium salt concentration to 2.5 mM caused *C. limicola* IMB K-8 chain-like cell groups disintegration.

Key words: phototrophs, green sulfur bacteria, toxicity, cadmium ions, morphology.

АККУМУЛЯЦИЯ ИОНОВ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ КЛЕТКАМИ *CHLOROBIVM LIMICOLA* IMB K-8 И ИХ ЦИТОМОРФОЛОГИЧЕСКИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ПОД ВЛИЯНИЕМ КАДМИЙ СУЛЬФАТА

И. Кушкевич, С. Гнатуш, А. Кулачковский

*Львовский национальный университет имени Ивана Франко
ул. Грушевского, 4, Львов 79005, Украина
e-mail: Ivan_Kushkevych@ukr.net*

Установлено, что клетки зеленых серобактерий *Chlorobium limicola* IMB K-8 способны аккумулировать Cu^{2+} , Pb^{2+} и Cd^{2+} . Аккумуляция ионов тяжелых металлов зависит от их концентрации в среде. Исследованы цитоморфологические изменения клеток фототрофных зеленых серобактерий *C. limicola* IMB K-8 под влиянием различных концентраций кадмий сульфата. Показано, что 1,5–2,0 mM CdSO_4 вызывает изменения структуры цитоплазматической мембраны и ее отслоение от клеточной стенки. Цитоплазма в этих условиях была уплотнена, накапливались электронноплотные вещества. Увеличение концентрации соли Кадмия к 2,5 mM вызвало распад цепочек клеток *C. limicola* IMB K-8.

Ключевые слова: фототрофы, зеленые серобактерии, токсичность, ионы кадмия, морфология.