

УДК: 579.81+579.68+579.26+579.22+546.3

**РІСТ, ВИКОРИСТАННЯ ГІДРОГЕН СУЛЬФІДУ ТА НАГРОМАДЖЕННЯ
ЕНДОГЕННИХ ВУГЛЕВОДІВ ФОТОЛІТОТРОФНИМИ СІРКОБАКТЕРІЯМИ
ЗА ВПЛИВУ ЙОНІВ МЕТАЛІВ**

О. Мороз, Х. Пакуш, Г. Звір, Б. Борсукевич, А. Галушка

*Львівський національний університет імені Івана Франка
вул. Грушевського, 4, Львів 79005, Україна
e-mail: moroz_oksana@yahoo.com*

Встановлено, що катіони двовалентних металів плюмбуму, цинку, нікелю, кобальту, феруму, кадмію, магнію, купруму за концентрацій 1–4 мМ інгібують ріст і здатність *Thiocapsa* sp. Ya-2003, *Lamprocystis* sp. Ya-2003 та *Chlorobium limicola* IMB K-8 окиснювати гідроген сульфід. Найбільшу негативну дію на утилізацію гідроген сульфіді бактеріями виявили йони кадмію, за впливу яких спостерігали пригнічення синтезу клітинами *C. limicola* IMB K-8 ендогенних вуглеводів. Показано, що рівень нагромадження біомаси й утилізації гідроген сульфіді клітинами знижується зі збільшенням в 1,25–2,5 разу вмісту $\text{Na}_2\text{S}\cdot 9\text{H}_2\text{O}$ у середовищі. Пурпурові сіркобактерії виявилися менш стійкими до 2–3 мМ $\text{FeC}_6\text{H}_5\text{O}_7$, порівняно із зеленими сіркобактеріями. Виявлено, що катіони феруму (III) за концентрації 3 мМ пригнічують рівень нагромадження біомаси й окиснення гідроген сульфіді фотолітотрофними сіркобактеріями, але не стимулюють синтезу глюкози та глікогену клітинами *C. limicola* IMB K-8.

Ключові слова: фотолітотрофні сіркобактерії, важкі метали, гідроген сульфід, глікоген.

Фотолітотрофні сіркові бактерії здійснюють аноксигенний фотосинтез, використовуючи сульфід як донор електронів і CO_2 як джерело карбону в анаеробних умовах. Ця властивість бактерій пов'язана з наявністю у них спеціальних пігмент-протеїнових комплексів, до складу яких входять бактеріохлорофіли та каротиноїди. Фотосинтетичний апарат інтегрований у внутрішні цитоплазматичні мембрани, які мають форму везикул [12]. Продуктами окиснення гідроген сульфіді є молекулярна сірка й сульфат. Окрім біологічного очищення забруднених природних, техногенних водойм і промислових стоків від гідроген сульфіді, пурпурові й зелені сіркобактерії мають важливе значення в утворенні та нагромадженні покладів сірки. Сірка може нагромаджуватися всередині клітин пурпурових (у вигляді глобул) і зовні клітин зелених сіркобактерій [17]. Пурпурові сіркобактерії найчастіше виявляють у тих водоймах, де концентрація гідроген сульфіді сягає 20–100 мг/л, тоді як зелені сіркобактерії розвиваються переважно у водоймах, концентрація гідроген сульфіді в яких не перевищує 50 мг/л [6, 22, 25, 29]. Фотолітотрофні сіркобактерії беруть активну участь у нагромадженні органічних речовин у водоймах, а також збагачують середовище сполуками нітрогену, здійснюючи азотфіксацію [10, 12, 27, 28]. Асиміляція карбон діоксиду та деяких органічних речовин зеленими сіркобактеріями роду *Chlorobium* приводить не тільки до утворення клітинами речовин, необхідних для їхнього росту. Іноді може відбуватися синтез запасного продукту у вигляді глюкози та продукту її полімеризації – глікогену [5]. Різні види родин *Chromatiaceae* та *Chlorobiaceae* окиснюють гідроген сульфід спочатку

до сірки, а пізніше до сульфатів [8]. Таким чином сіркобактерії можуть стимулювати розвиток сульфат- і сірководновлювальних бактерій, які є основними продуцентами гідроген сульфід у водоймах, постачаючи їм необхідні органічні речовини, сірку й сульфати [1, 6, 13, 14, 25]. Вивчення шляхів метаболізму гідроген сульфід фотолітотрофними та хемолітотрофними мікроорганізмами в забруднених неорганічними сполуками сульфуру штучних водоймах актуальне для пошуку ефективних шляхів їхнього очищення.

Окрім сполук сульфуру, у водоймах зі значним антропогенним навантаженням виявляють великі кількості сполук важких металів. Ступінь токсичності металу визначається його концентрацією та метаболічним потенціалом мікроорганізмів. Чутливими до дії важких металів є енергетичні й транспортні процеси, клітинний поділ [23]. Найнебезпечнішими забруднювачами довкілля є меркурій, плумбум, кадмій, хром, купрум, ферум, нікель, цинк [15, 18]. Катіони металів можуть утворювати специфічні комплекси з гідроксильними, карбоксильними, фосфатними, аміногрупами, а також ковалентні зв'язки з сульфгідрильними групами органічних сполук, наслідком чого є порушення структури поверхневих шарів клітини, бар'єрної функції цитоплазматичної мембрани та зміна трансмембранного потенціалу. Катіони металів можуть взаємодіяти з білками, нуклеотидами, коферментами, фосфоліпідами, порфіринами тощо, внаслідок чого відбувається пригнічення росту й окремих процесів клітинного метаболізму [15, 18].

Значення фототрофних сіркобактерій у відновленні біоценозів і можливе використання їх для ремедіації забруднених гідроген сульфідом і важкими металами водних ресурсів недостатньо вивчена [3, 7]. Метою роботи було дослідити вплив йонів важких металів на ріст, окиснення гідроген сульфід та утворення глікогену клітинами фотолітотрофних пурпурових і зелених сіркобактерій, виділених з озера Яворівське, для розробки біотехнологічної моделі очищення вод, забруднених гідроген сульфідом і важкими металами.

Матеріали та методи

Об'єктами дослідження були фотолітотрофні пурпурові сіркобактерії *Thiocapsa* sp. Ya-2003 і *Lamprocystis* sp. Ya-2003 та зелені сіркобактерії *Chlorobium limicola* IMB K-8. Штами виділені працівниками кафедри мікробіології з Яворівського озера, ідентифіковані [5, 9], зберігаються в колекції культур мікроорганізмів кафедри мікробіології Львівського національного університету імені Івана Франка та депозитарії Інституту мікробіології і вірусології ім. Д.К. Заболотного НАН України.

Бактерії культивували за анаеробних умов і постійного освітлення в середовищі Ван Ніля упродовж 10 діб за температури 25–28°C [19, 24, 26]. Для створення анаеробних умов пробірки повністю заповнювали середовищем і закривали гумовими корками. Пурпурові сіркобактерії вирощували за освітленості 500–700 лк із використанням червоного інтерференційного світлофільтра, який пропускає світло з довжиною хвилі понад 800 нм. Зелені сіркобактерії освітлювали променями з довжиною хвилі 700–800 нм, освітленість становила 40 лк. Освітленість вимірювали за допомогою люксметра Ю-116. Значення рН середовища було слаболужним (рН ~ 7,5) для пурпурових і нейтральним (рН ~ 7,0) – для зелених сіркобактерій.

Для вивчення впливу йонів важких металів на нагромадження біомаси, утилізацію гідроген сульфід, синтез внутрішньоклітинної глюкози та глікогену клітини *Thiocapsa* sp. Ya-2003, *Lamprocystis* sp. Ya-2003 та *C. limicola* IMB K-8 вирощували в середовищі Ван Ніля до середини експоненційної фази росту, осаджували центрифугуванням за 6 тис. об./хв упродовж 30 хв та інкубували впродовж години зі солями металів: $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$, $\text{ZnCl}_2 \times 7 \text{H}_2\text{O}$, NiCl_2 , CoCl_2 , $\text{FeCl}_2 \times 4 \text{H}_2\text{O}$, $\text{CdSO}_4 \times 5 \text{H}_2\text{O}$, $\text{MgSO}_4 \times 7 \text{H}_2\text{O}$, $\text{CuSO}_4 \times 5 \text{H}_2\text{O}$ у

концентраціях 0; 0,5; 1; 1,5; 2; 2,5; 3; 4 мМ. Клітини двічі відмивали дистильованою водою, осаджували центрифугуванням і висівали у пробірки (густина засіву – 0,5 г/л) [16]. Культивували впродовж 10 діб у пробірках, доверху заповнених середовищем, визначали біомасу турбідиметричним методом з використанням КФК-3 ($l=3$ мм; $\lambda=660$ нм для пурпурових сіркобактерій і 450 нм для зелених), вміст гідроген сульфід у культуральній рідині спектрофотометричним методом за утворенням метиленої сині [30], вміст глюкози та глікогену в клітинних екстрактах *C. limicola* ІМВ К-8 – ферментативно, за допомогою аналітичного набору “Діаглюк-2” [4]. Для вивчення впливу йонів феруму (III) на ріст, утилізацію гідроген сульфід бактеріями та рівень внутрішньоклітинної глюкози й глікогену інкубовані впродовж години за наявності $\text{FeC}_6\text{H}_5\text{O}_7$ (0; 1; 2; 3 мМ) клітини пурпурових і зелених сіркобактерій двічі відмивали дистильованою водою, осаджували центрифугуванням, висівали у пробірки (густина засіву – 0,5 г/л) і вирощували в середовищі з гідроген сульфідом у різних концентраціях (4 (вміст гідроген сульфід у стандартному середовищі Ван-Ніля (контроль); 5; 6; 8; 10 мМ) за анаеробних умов та оптимального освітлення. Після 10 діб росту визначали біомасу, вміст гідроген сульфід у культуральній рідині, глюкози та глікогену – у безклітинних екстрактах.

Для визначення концентрацій внутрішньоклітинної глюкози та глікогену клітини *C. limicola* ІМВ К-8 осаджували за 6 тис. об./хв упродовж 30 хв. Культуральну рідину зливали, клітини ресуспендували в 3 мл екстрагуючого буферу (50 мМ калій-фосфатний буфер, рН 7,5; 10^{-5} М ЕДТА (етилендіамінтетраацетат); 10^{-5} М ФМСФ (фенілметилсульфонілфторид)). Пробірки з клітинами заморожували в морозильній камері при -18°C і використовували для приготування безклітинних екстрактів. Клітини руйнували за допомогою ультразвукового дезінтегратора УЗДН-2Т частотою 22 кГц упродовж 5 хв у скляних товстостінних пробірках, занурених у лід. Уламки клітин відділяли центрифугуванням за 15 тис. об./хв упродовж 45 хв за температури 4°C . Отримані безклітинні екстракти відразу використовували для визначення вмісту глюкози й глікогену [4]. Концентрацію глікогену розраховували за різницею рівнів глюкози до та після проведення кислотного гідролізу. Гідроліз глікогену проводили кип’ятінням безклітинних екстрактів за наявності 1 н H_2SO_4 упродовж 3 год із подальшою нейтралізацією $\text{Ba}(\text{OH})_2$ [11].

Статистичну обробку результатів проводили загальноприйнятими методами з використанням програми “Microsoft Excel 2003”. Для оцінки достовірності різниці між статистичними характеристиками альтернативних сукупностей даних обчислювали коефіцієнт Стюдента, достовірною вважалася різниця за рівня значимості $p \leq 0,05$.

Результати і їхнє обговорення

У природних середовищах важкі метали за високих концентрацій виявляють токсичну дію на одноклітинні та багатоклітинні організми рослин, тварин, грибів і бактерій, що призводить до пригнічення розвитку біоти, зниження біологічної різноманітності й продуктивності екосистем [20]. Важкі метали концентруються у верхньому найбільш родючому гумусовмісному шарі ґрунту, в донних осадах водойм, у кормах і продуктах. Небезпека важких металів для живих організмів обумовлена їхньою здатністю нагромаджуватися в клітинах у процесі руху трофічним ланцюгом. Тривалий вплив на людину важких металів, що не піддалися метаболічним перетворенням, призводить до генетично обумовлених патологій і хронічних системних уражень, спричинених синдромами накопичення та ксеногенної інтоксикації [18, 20]. Хоча вміст йонів кадмію, стронцію, мангану, феруму, цинку, плумбуму та купруму у водоймах Прикарпатського сірковидобувного регіону впродовж останніх років не вищий за 0,1 мМ,

концентрації йонів кадмію, стронцію, мангану та феруму значно перевищують гранично допустимі концентрації [2]. У зв'язку зі здатністю мікроорганізмів до акумуляції йонів металів у клітинах вивчали вплив солей двовалентних металів за значно вищих, ніж ця, концентрацій на ріст фотолітотрофних пурпурових і зелених сіркобактерій, виділених із озера Яворівське.

Таблиця 1

Вплив солей металів на нагромадження біомаси фотосинтезувальними сіркобактеріями після 10 діб росту в середовищі Ван Ніля (г/л)

Штам	Концентрація солі, мМ	Pb(NO ₃) ₂	ZnCl ₂ x 7 H ₂ O	NiCl ₂	CoCl ₂	FeCl ₂ x 4 H ₂ O	CdSO ₄ x 5 H ₂ O	MgSO ₄ x 7 H ₂ O	CuSO ₄ x 5 H ₂ O
<i>Thiocapsa</i> sp. Ya-2003	0	5,18±0,21	5,25±0,07	4,56±0,07	4,93±0,07	5,02±0,04	5,04±0,05	5,14±0,02	5,01±0,05
	1	2,14±0,21*	3,54±0,06	2,94±0,06	2,95±0,04	4,35±0,07	3,52±0,04	4,41±0,03	4,25±0,11
	1,5	1,74±0,05*	2,98±0,08	2,05±0,09*	2,51±0,10*	3,65±0,06	2,52±0,10*	4,39±0,07	3,86±0,12
	2	1,31±0,07*	2,64±0,07*	1,84±0,11*	1,84±0,08*	3,56±0,03	1,79±0,05*	4,32±0,02	3,24±0,07
	2,5	0,80±0,09*	2,19±0,15*	0,99±0,17*	0,79±0,06*	3,42±0,12	1,33±0,12*	3,59±0,10	2,65±0,03
	3	0,64±0,05*	1,15±0,03*	0,76±0,06*	0,58±0,05*	1,91±0,05*	1,17±0,13*	3,11±0,03	2,05±0,05*
<i>Lamprocystis</i> sp. Ya-2003	0	5,20±0,05	5,12±0,01	4,09±0,13	4,68±0,12	4,89±0,07	5,01±0,12	5,15±0,14	5,11±0,07
	1	2,25±0,17*	3,32±0,05	2,77±0,05	3,34±0,06	3,63±0,04	4,68±0,07	4,42±0,07	4,50±0,12
	1,5	1,65±0,17*	2,76±0,01*	1,91±0,03*	2,56±0,07	2,8±0,03*	3,53±0,12	4,33±0,06	4,09±0,01
	2	1,23±0,18*	2,01±0,03*	1,37±0,10*	2,01±0,16*	2,05±0,04*	2,50±0,04*	4,25±0,14	3,62±0,04
	2,5	0,81±0,07*	1,58±0,02*	0,55±0,02*	0,88±0,02*	1,53±0,02*	2,34±0,06*	3,55±0,11	2,96±0,11
	3	0,69±0,04*	0,85±0,02*	0,43±0,01*	0,74±0,04*	0,99±0,02*	1,86±0,08*	3,26±0,05	2,26±0,15*
<i>C. limicola</i> IMB K-8	0	3,56±0,07	3,35±0,11	3,25±0,01	3,31±0,07	2,96±0,09	3,29±0,03	3,26±0,06	3,42±0,05
	1	2,95±0,11	2,68±0,07	2,59±0,03	2,95±0,11	2,65±0,15	2,54±0,08	2,89±0,09	2,95±0,12
	1,5	2,36±0,05	2,49±0,05	2,28±0,04	2,31±0,01	2,54±0,06	1,96±0,08	2,41±0,11	2,44±0,06
	2	2,04±0,04	2,35±0,09	2,05±0,05	2,25±0,03	2,48±0,05	1,81±0,14	2,29±0,15	2,32±0,06
	2,5	1,75±0,07*	2,18±0,02	1,59±0,04*	1,65±0,08*	2,36±0,09	1,49±0,07*	2,19±0,12	2,25±0,14
	3	1,54±0,08*	1,85±0,04	1,36±0,03*	1,32±0,09*	2,11±0,11	1,26±0,04*	1,94±0,06	2,09±0,08

Примітка. * – p≤0,05.

Досліджували вплив солей плумбуму, цинку, нікелю, кобальту, феруму, кадмію, магнію, купруму за концентрацій 0,5–4 мМ на ріст фотолітотрофних сіркобактерій (табл. 1). Йони плумбуму характеризувалися найбільшим негативним впливом на ріст *Thiocapsa* sp. Ya-2003, біомаса бактерій за впливу 1 мМ плумбуму виявилася нижчою від контролю у 2,4 разу. Йони нікелю, кобальту, цинку, кадмію пригнічували ріст бактерій за концентрацій 1,5–2 мМ у 2,0–2,2 разу. Йони феруму за концентрації 3 мМ сповільнювали ріст у 2,6 разу. Солі магнію та купруму за концентрацій 3–4 мМ пригнічували ріст *Thiocapsa* sp. Ya-2003 до 2,4 разу. Найбільш помітний негативний вплив на ріст *Lamprocystis* sp. Ya-2003 здійснювали йони плумбуму, нікелю, цинку та феруму, оскільки біомаса за впливу 1–1,5 мМ йонів цих металів виявилася значно нижчою від контролю. За концентрації 1 мМ плумбум інгібував приріст біомаси в 2,3 разу, нікель за концентрації 1,5 мМ – у 2,1 разу. Кобальт і кадмій значно пригнічували ріст *Lamprocystis* sp. Ya-2003 у концентрації 2 мМ, купрум – 3 мМ, магній – 4 мМ. На відміну від *Lamprocystis* sp. Ya-2003 та *Thiocapsa* sp. Ya-2003, йони металів (зокрема, кадмію, нікелю, кобальту, плумбуму) значно пригнічували ріст *C. limicola* IMB K-8 за концентрації 2,5 мМ у 2,0–2,2 разу. За впливу 4 мМ йонів магнію, цинку, купруму біомаса була нижчою від контролю у 2,1; 2,0; 2,1 разу, відповідно. Отже, встановлено мінімальні інгібуючі концентрації солей двовалентних металів для *Thiocapsa*

sp. Ya-2003, *Lamprocystis* sp. Ya-2003 та *C. limicola* IMB K-8: $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ (1; 1; 2,5 мМ), $\text{ZnCl}_2 \times 7 \text{H}_2\text{O}$ (2; 1,5; 4 мМ), NiCl_2 (1,5; 1,5; 2,5 мМ), CoCl_2 (1,5; 2; 2,5 мМ), $\text{FeCl}_2 \times 4 \text{H}_2\text{O}$ (3; 1,5; 4 мМ), $\text{CdSO}_4 \times 5 \text{H}_2\text{O}$ (1,5; 2; 2,5 мМ), $\text{MgSO}_4 \times 7 \text{H}_2\text{O}$ (4; 4; 4 мМ), $\text{CuSO}_4 \times 5 \text{H}_2\text{O}$ (3; 3; 4 мМ). Як видно з отриманих результатів, штам зелених сіркобактерій *C. limicola* IMB K-8 виявився більш стійким до високих концентрацій солей металів, ніж культури пурпурових сіркобактерій *Lamprocystis* sp. Ya-2003 та *Thiocapsa* sp. Ya-2003.

Гідроген сульфід, як і інші відновлені сполуки сульфуру, використовується фототрофними сіркобактеріями як донор електронів у процесі аноксигенного фотосинтезу або хемотрофного росту. Проміжною сполукою окиснення гідроген сульфід є елементарна сірка, яка нагромаджується в клітинах бактерій чи поза ними. Глобули сірки виконують функцію енергетичного резерву й у разі вичерпання донора електронів зі середовища окиснюються до сульфатів [12]. Оскільки йони металів виявилися здатними інгібувати ріст бактерій, припускали, що вони теж негативно впливатимуть на утилізацію ними гідроген сульфід. Досліджували вплив йонів плюмбуму, цинку, нікелю, кобальту, феруму, кадмію, магнію, купруму на окиснення гідроген сульфід клітинами пурпурових і зелених фотолітотрофних сіркобактерій (табл. 2). Інтенсивність окиснення гідроген сульфід *Thiocapsa* sp. Ya-2003 за впливу 0,5–4 мМ солей металів знижувалася зі зростанням їхньої концентрації під час інкубації клітин. У контрольному варіанті (в якому клітини не були інкубовані з йонами металів) концентрація гідроген сульфід зменшувалася від 4,2 мМ (початкова концентрація у середовищі) до 0,18–0,26 мМ, тобто клітини утилізували 93,8–95,7% наявного у середовищі гідроген сульфід. Найнегативнішу дію на утилізацію гідроген сульфід бактеріями здійснювали йони кобальту і кадмію. За їхнього впливу в концентрації 1 мМ рівень окиснення гідроген сульфід бактеріями зменшувався, за 10 діб клітини окиснили тільки 87,86 та 86,90%, відповідно, наявного в середовищі гідроген сульфід. Було досліджено інтенсивність окиснення гідроген сульфід *Lamprocystis* sp. Ya-2003 за впливу солей перелічених вище металів. У контрольному варіанті концентрація гідроген сульфід зменшувалася від 4,2 мМ до 0,14–0,22 мМ, тобто клітини утилізували 94,8–96,7% наявного в середовищі гідроген сульфід. Найбільшу інгібувальну дію на утилізацію бактеріями гідроген сульфід спричиняли йони кадмію та плюмбуму. За їхньої концентрації 1 мМ відносна концентрація окисненого бактеріями гідроген сульфід становила тільки 87,4 та 90,0%, відповідно. За умов збільшення концентрації йонів металів під час інкубації клітин *C. limicola* IMB K-8 концентрація гідроген сульфід в середовищі після 10 діб їхнього росту теж виявилася вищою, ніж у кінці культивування клітин, які не були інкубовані зі солями металів. Найнегативнішу дію на утилізацію гідроген сульфід бактеріями виявляли йони плюмбуму та кадмію. Зі зростанням концентрації йонів плюмбуму під час інкубації виявлено пропорційне пригнічення здатності бактерій окиснювати гідроген сульфід. Якщо у контрольному варіанті концентрація гідроген сульфід зменшувалася від 4,2 мМ до 0,18–0,27 мМ, тобто клітини утилізували 93,6–95,7% наявного у середовищі гідроген сульфід, то під впливом солі плюмбуму вже в концентрації 1 мМ після 10 діб росту вміст гідроген сульфід зменшувався від 4,2 мМ до 0,40 мМ, клітини окиснювали 90,5% гідроген сульфід. За впливу 1 мМ йонів кадмію клітини окиснювали 89,8% гідроген сульфід. Йони магнію, цинку та купруму виявляли негативний вплив на аноксигенний фотосинтез за концентрації 2 мМ, клітини окиснювали від 85,0 до 87,6% наявного в середовищі гідроген сульфід. Отже, встановлено концентрації солей двовалентних металів, за яких інтенсивність окиснення гідроген сульфід клітинами *Thiocapsa* sp. Ya-2003, *Lamprocystis* sp. Ya-2003 та *C. limicola* IMB K-8 значно знижувалася: $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ (1; 1; 1 мМ), $\text{ZnCl}_2 \times 7 \text{H}_2\text{O}$ (1,5; 1,5; 2 мМ), NiCl_2 (1,5; 1,5; 1,5 мМ), CoCl_2 (1; 1,5; 1,5 мМ), $\text{FeCl}_2 \times 4 \text{H}_2\text{O}$ (1,5; 1,5; 1,5 мМ), $\text{CdSO}_4 \times 5 \text{H}_2\text{O}$ (1; 1; 1 мМ), $\text{MgSO}_4 \times 7 \text{H}_2\text{O}$ (2,5; 2,5; 2 мМ), $\text{CuSO}_4 \times 5 \text{H}_2\text{O}$ (3; 3; 2 мМ).

Таблиця 2

Вплив солей металів на утилізацію гідроген сульфід у фотосинтезувальними
сіркобактеріями після 10 діб росту в середовищі Ван Ніля (мМ)**

Штам	Концентрація солі, мМ	Pb(NO ₃) ₂	ZnCl ₂ x 7 H ₂ O	NiCl ₂	CoCl ₂	FeCl ₂ x 4 H ₂ O	CdSO ₄ x 5 H ₂ O	MgSO ₄ x 7 H ₂ O	CuSO ₄ x 5H ₂ O
<i>Thiocapsa</i> sp. Ya-2003	0	0,22±0,03	0,21±0,02	0,23±0,04	0,21±0,04	0,18±0,03	0,24±0,09	0,21±0,07	0,26±0,06
	1	0,45±0,04*	0,40±0,03	0,43±0,03	0,51±0,01*	0,31±0,04	0,55±0,08*	0,36±0,05	0,38±0,08
	1,5	0,62±0,09*	0,54±0,02*	0,58±0,06*	0,89±0,07*	0,38±0,01*	0,92±0,05*	0,37±0,06	0,42±0,11
	2	0,67±0,08*	0,65±0,05*	0,65±0,08*	1,03±0,05*	0,56±0,06*	1,07±0,05*	0,41±0,03	0,48±0,05
	2,5	0,75±0,03*	0,88±0,04*	0,71±0,07*	1,22±0,08*	0,81±0,05*	1,34±0,09*	0,44±0,12*	0,51±0,08
	3	1,19±0,05*	1,07±0,06*	1,07±0,09*	1,31±0,03*	0,99±0,07*	1,46±0,05*	0,48±0,05*	0,66±0,05*
<i>Lamprocytis</i> sp. Ya-2003	0	0,19±0,01	0,17±0,01	0,16±0,01	0,22±0,02	0,14±0,01	0,18±0,02	0,18±0,01	0,22±0,03
	1	0,42±0,08*	0,39±0,01	0,27±0,04	0,44±0,02	0,29±0,02	0,53±0,05*	0,31±0,01	0,34±0,03
	1,5	0,57±0,06*	0,51±0,01*	0,36±0,01*	0,53±0,02*	0,38±0,01*	0,91±0,07*	0,32±0,03	0,38±0,12
	2	0,65±0,05*	0,63±0,02*	0,46±0,05*	0,62±0,01*	0,51±0,01*	1,11±0,08*	0,35±0,05	0,42±0,05
	2,5	0,82±0,03*	0,85±0,03*	0,58±0,01*	0,73±0,01*	0,75±0,01*	1,37±0,04*	0,41±0,06*	0,49±0,04
	3	1,21±0,01*	1,02±0,01*	0,83±0,03*	0,92±0,09*	0,96±0,02*	1,51±0,11*	0,45±0,04*	0,61±0,03*
<i>C. limicola</i> IMB K-8	0	0,20±0,05	0,24±0,07	0,18±0,03	0,24±0,05	0,22±0,01	0,21±0,04	0,22±0,06	0,27±0,04
	1	0,40±0,09*	0,38±0,08	0,35±0,08	0,47±0,09	0,49±0,05	0,43±0,06*	0,32±0,05	0,40±0,03
	1,5	0,47±0,08*	0,44±0,03	0,42±0,03*	0,59±0,07*	0,56±0,07*	0,59±0,08*	0,36±0,07	0,52±0,03
	2	0,49±0,08*	0,55±0,04*	0,47±0,04*	0,72±0,06*	0,71±0,05*	0,76±0,06*	0,52±0,04*	0,63±0,05*
	2,5	0,67±0,03*	0,63±0,05*	0,61±0,09*	0,84±0,09*	0,83±0,08*	0,92±0,09*	0,63±0,05*	0,76±0,08*
	3	0,91±0,11*	0,82±0,09*	0,86±0,07*	0,93±0,12*	0,93±0,09*	1,08±0,07*	0,78±0,05*	0,81±0,05*

Примітки. * – p≤0,05; ** – вихідна концентрація гідроген сульфід у середовищі – 4,2 мМ.

Таким чином, показано, що за впливу йонів плюмбуму, цинку, нікелю, кобальту, феруму, кадмію, магнію, купрум у концентраціях 1–4 мМ пригнічується здатність фотолітотрофних сіркобактерій як до фототрофного росту, так і до утилізації гідроген сульфід. Багато катіонів двовалентних металів за структурою дуже подібні, тому їхня токсичність може бути зумовлена взаємодією з певними лігандами, що призводить до блокування таких функціональних груп макромолекул, як ферменти і транспортні системи, модифікацією активної конформації біомолекул, витісненням і/або заміщенням необхідних клітині йонів із їхніх природних сайтів зв'язування, наприклад, у складі металопротеїнів [15]. Імовірно, йони металів за високих концентрацій пошкоджують структуру й функції світлозбиральних пігментів, фотохімічних реакційних центрів і фотосинтетичних електронтранспортних систем у клітинах фотолітотрофних сіркобактерій.

Було доцільно дослідити, чи важкі метали, які помітно інгібують нагромадження біомаси фотолітотрофними сіркобактеріями, сприятимуть синтезу підвищених кількостей ендогенних вуглеводів (зокрема, глюкози та глікогену) в клітинах зелених сіркобактерій, оскільки відомо, що в цих бактерій зміщення метаболізму в бік конструктивного анаболізму вуглеводів поєднується зі зниженням рівня нагромадження біомаси [5]. Як описано нами раніше [16], одним із найбільш токсичних серед інших металів для *C. limicola* IMB K-8 виявився кадмій, значне пригнічення росту бактерій виявлено за впливу йонів кадмію в концентрації 2,5 мМ, інгібування утилізації гідроген сульфід – в концентрації 1 мМ (див. табл. 1–2). Як видно з рис. 1, А, йони кадмію навіть у незначних концентраціях виявляють інгібувальну дію на ріст клітин *C. limicola* IMB K-8. Так, за концентрації 0,5 мМ йонів

кадмію під час інкубації біомаса вирощених упродовж 10 діб клітин знижувалася на 16%, порівняно з контролем. За впливу 2,5 мМ йонів кадмію біомаса знижувалася на 55%, порівняно з контролем, і становила тільки 1,49 г/л, тоді як у контролі – 3,29 г/л. Йони кадмію не впливали на нагромадження внутрішньоклітинної глюкози у досліджуваних бактерій (рис. 1, Б). За впливу 2,5 мМ йонів кадмію синтез глікогену клітинами *C. limicola* IMB K-8 після 10 діб росту суттєво пригнічувався. Якщо у контрольному варіанті рівень глікогену в клітинах дорівнював 45,7 мг/г, то за впливу йонів металу в концентрації 2,5 мМ рівень синтезованого клітинами глікогену зменшувався більш ніж удвічі. Таким чином, встановлено негативний вплив йонів одного з найбільш токсичних для бактерій металів – кадмію – не лише на ріст і рівень утилізації гідроген сульфідів клітинами зелених фотолітотрофних сіркобактерій *C. limicola* IMB K-8, але й на синтез ними глікогену.

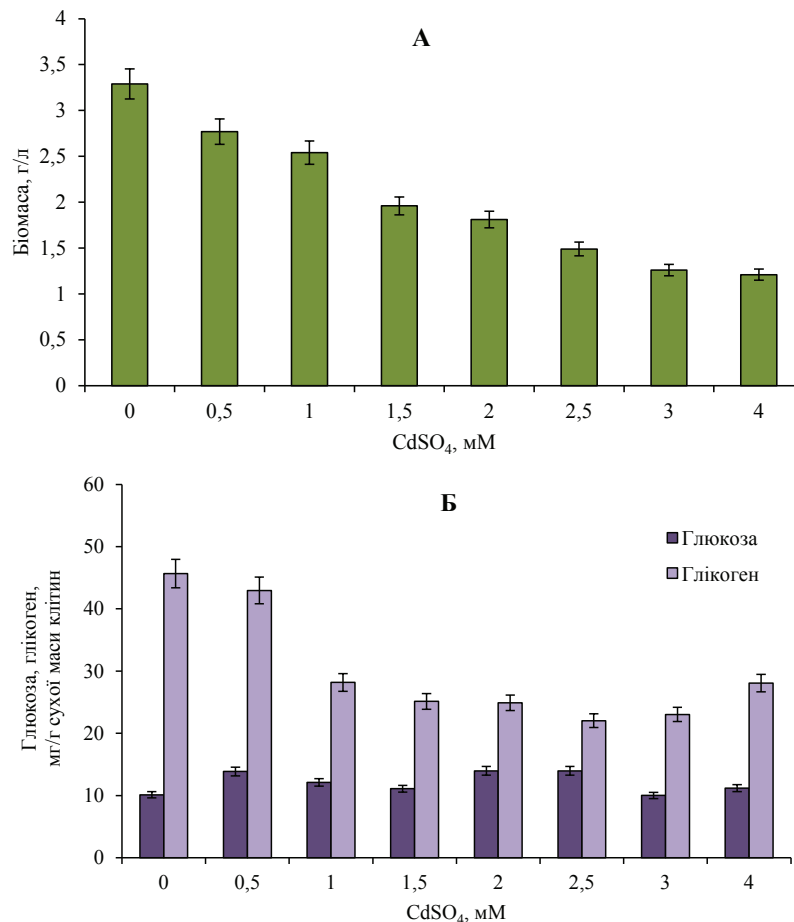


Рис. 1. Біомаса (А), рівень внутрішньоклітинної глюкози та глікогену (Б) у клітинах *C. limicola* IMB K-8, інкубованих з кадмій сульфатом за його різних концентрацій і вирощених упродовж 10 діб у середовищі Ван Ніля.

Відомо, що йони перехідних важких металів, зокрема, Cr (VI), Mn (IV), Fe (III), U (VI), є більш токсичними для бактерій, ніж йони двовалентних металів [15, 18]. Увалялося доцільним перевірити рівень інгібування нагромадження біомаси та здатності фотоліто-

рофних сіркобактерій здійснювати детоксикацію водних середовищ від гідроген сульфідів, зокрема, за високих його концентрацій йонами одного з найбільш токсичних для бактерій металів зі змінною валентністю – феруму (III). Вивчали також вплив йонів феруму (III) на синтез глюкози та глікогену клітинами зелених сіркобактерій.

Для вивчення впливу йонів феруму (III) на ріст, утилізацію гідроген сульфідів бактеріями та рівень внутрішньоклітинної глюкози і глікогену інкубовані за наявності $\text{FeC}_6\text{H}_5\text{O}_7$ (0; 1; 2; 3 мМ) клітини пурпурових і зелених сіркобактерій вирощували у середовищі зі збільшеним у 1,25; 1,5; 2; 2,5 рази вмістом гідроген сульфідів. Збільшення кількості $\text{Na}_2\text{S} \times 9 \text{H}_2\text{O}$ у середовищі у 2,5 рази (до 10 мМ) не лише не сприяло підвищенню рівня нагромадження біомаси, але й незначно пригнічувало ріст бактерій усіх штамів (рис. 2). Fe (III) за концентрації 1 мМ не впливав на рівень нагромадження біомаси *Thiocapsa* sp. Ya-2003 після 10 діб росту в середовищі зі всіма досліджуваними концентраціями гідроген сульфідів. Йони металу за концентрації 2 мМ не інгібували ріст бактерій, вирощених у середовищі з 4, 5 та 6 мМ гідроген сульфідів, але пригнічували його у бактерій, вирощених у середовищі з 8 і 10 мМ гідроген сульфідів. За концентрації 3 мМ вони пригнічували ріст бактерій, вирощених у середовищі зі всіма досліджуваними концентраціями гідроген сульфідів. Йони Fe (III) за концентрацій 1–2 мМ значно не інгібували росту бактерій *Lamprocystis* sp. Ya-2003 та *C. limicola* IMB K-8, вирощених у середовищі із вмістом гідроген сульфідів від 4 до 10 мМ. Йони металу за концентрації 3 мМ спричиняли інгібування росту бактерій *Lamprocystis* sp. Ya-2003, вирощених у середовищі із всіма досліджуваними концентраціями гідроген сульфідів, та бактерій *C. limicola* IMB K-8, вирощених у середовищі з 6, 8 і 10 мМ гідроген сульфідів (див. рис. 2). Отже, встановлено, що пурпурові сіркобактерії *Thiocapsa* sp. Ya-2003 та *Lamprocystis* sp. Ya-2003 виявилися менш стійкими до 2–3 мМ $\text{FeC}_6\text{H}_5\text{O}_7$, порівняно із зеленими сіркобактеріями *C. limicola* IMB K-8. Йони феруму (III) виявляють більш виражену токсичну дію на клітини бактерій, вирощені в середовищі зі збільшеним у 1,5–2,5 рази вмістом гідроген сульфідів, що може бути пов'язано з подвійним негативним впливом на мікроорганізми як йона металу, так і гідроген сульфідів.

Встановлено, що рівень утилізації гідроген сульфідів клітинами всіх штамів, не інкубованими з йонами Fe (III), зменшується зі збільшенням його початкового вмісту в середовищі (рис. 3). Якщо вміст гідроген сульфідів в середовищі становив 4 мМ, то за 10 діб клітини *Thiocapsa* sp. Ya-2003 окиснювали 95,5%, *Lamprocystis* sp. Ya-2003 – 96,8% і *C. limicola* IMB K-8 – 97,3% наявного в середовищі гідроген сульфідів. Якщо його вміст у середовищі становив 10 мМ, то за 10 діб клітини бактерій окиснювали лише 27,7; 31,3 і 34,8%, відповідно, наявного в середовищі гідроген сульфідів. Йони Fe (III) за концентрації 1 мМ не впливали на рівень окиснення гідроген сульфідів клітинами *Thiocapsa* sp. Ya-2003, *Lamprocystis* sp. Ya-2003 і *C. limicola* IMB K-8, вирощеними у середовищі зі всіма досліджуваними концентраціями гідроген сульфідів. Йони Fe (III) за концентрації 2 мМ у 2,0–3,5 рази пригнічували рівень окиснення гідроген сульфідів клітинами *Thiocapsa* sp. Ya-2003, *Lamprocystis* sp. Ya-2003 і *C. limicola* IMB K-8, вирощеними у середовищі із вмістом гідроген сульфідів від 6 до 10 мМ. Йони Fe (III) за концентрації 3 мМ у 2,7–4,4, 2,2–3,9 і 1,8–3,8 рази, відповідно, знижували рівень утилізації гідроген сульфідів клітинами *Thiocapsa* sp. Ya-2003, *Lamprocystis* sp. Ya-2003 і *C. limicola* IMB K-8, вирощеними у середовищі із вмістом гідроген сульфідів від 5 до 10 мМ (див. рис. 3). Таким чином, встановлено, що при збільшенні в 1,25 рази концентрації гідроген сульфідів у середовищі та за впливу 2–3 мМ йонів Fe (III) утилізація гідроген сульфідів клітинами *Thiocapsa* sp. Ya-2003, *Lamprocystis* sp. Ya-2003 і *C. limicola* IMB K-8 значно сповільнюється.

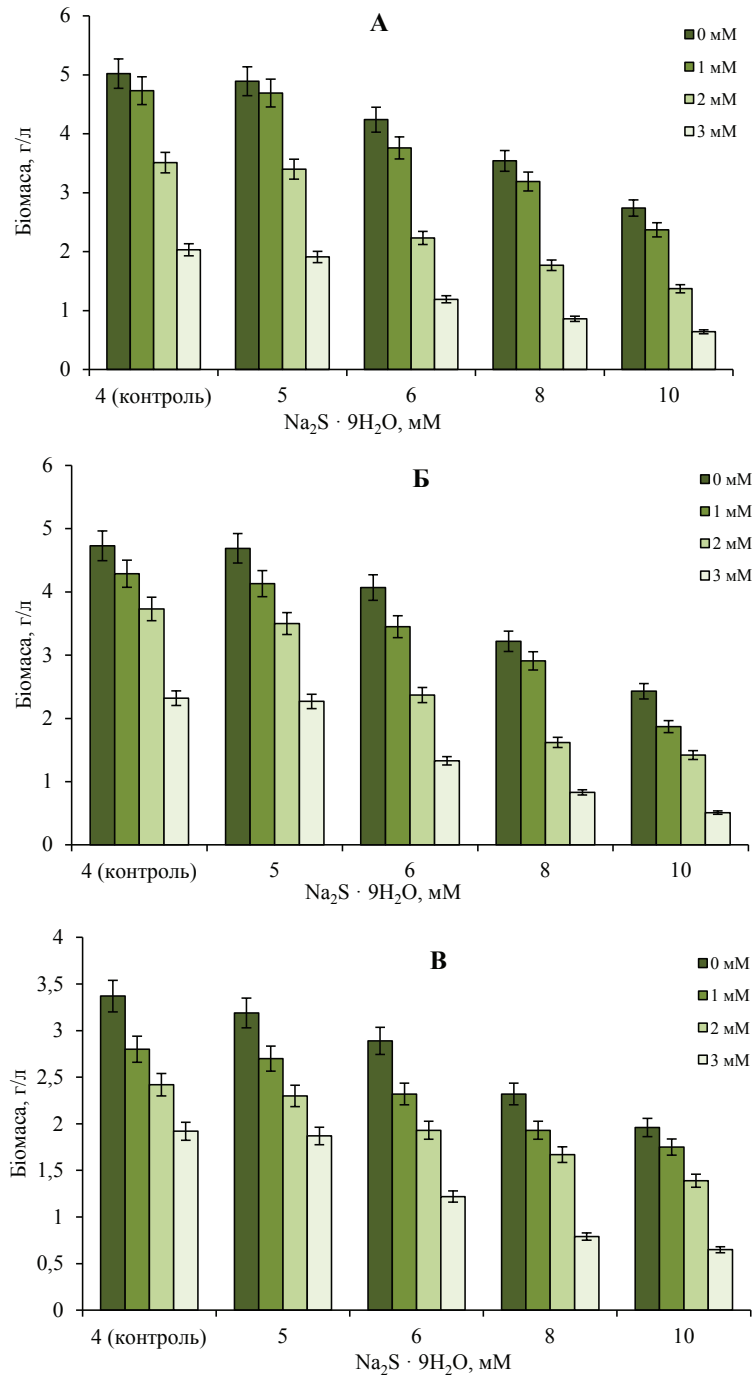


Рис. 2. Вплив йонів феруму (III) за концентрацій 0 (контроль); 1; 2 та 3 мМ на нагромадження біомаси *Thiocapsa* sp. Ya-2003 (А), *Lamprocystis* sp. Ya-2003 (Б) і *C. limicola* IMB K-8 (В) після 10 діб росту в середовищі з гідроген сульфідом за різних концентрацій.

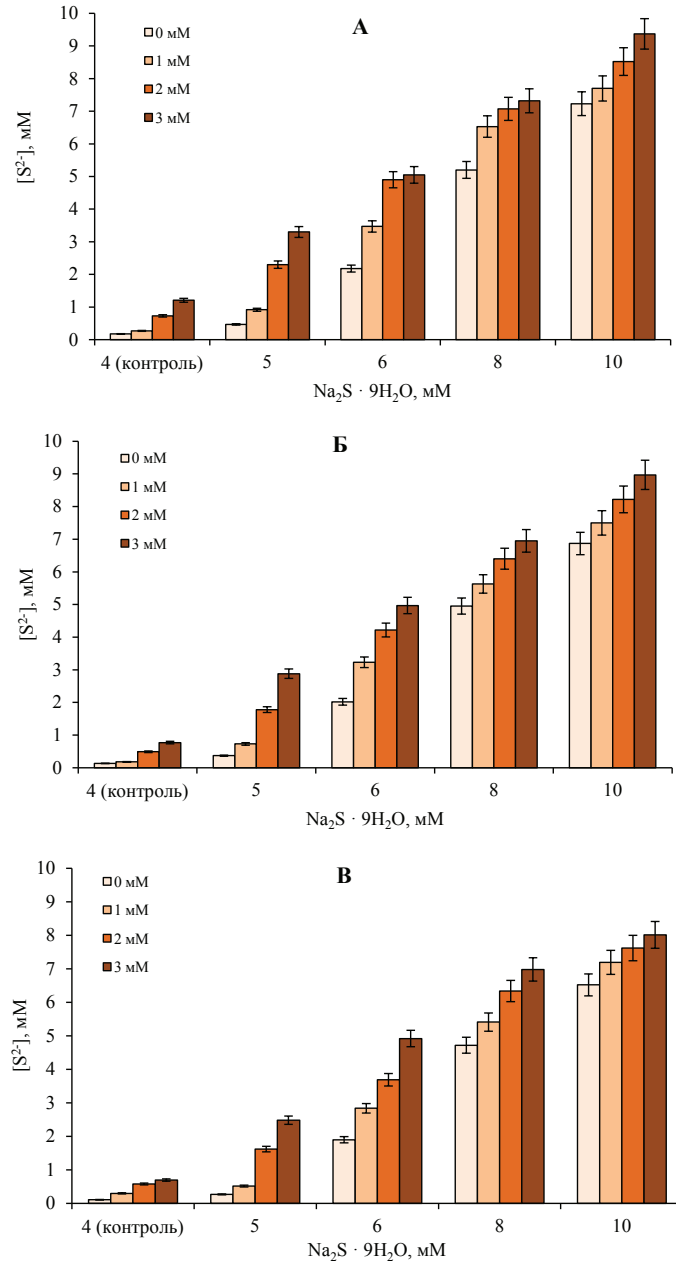


Рис. 3. Вплив йонів феруму (III) за концентрацій 0 (контроль); 1; 2 та 3 мМ на утилізацію гідроген сульфідів *Thiocapsa* sp. Ya-2003 (А), *Lamprocystis* sp. Ya-2003 (Б) і *C. limicola* IMB K-8 (В) після 10 діб росту в середовищі з гідроген сульфідом за різних концентрацій.

Досліджували вплив йонів $Fe(III)$ за концентрації 3 мМ (за якої спостерігали пригнічення рівня нагромадження біомаси в 1,71–3,02 рази після 10 діб росту в середовищі з гідроген сульфідом за концентрацій від 4 до 10 мМ) на синтез ендогенних вуглеводів, зокрема, глюкози та глікогену клітинами фотолітотрофних зелених сіркобактерій. Виявлено,

що рівень внутрішньоклітинної глюкози і глікогену практично не залежить від початкової концентрації гідроген сульфід у середовищі культивування *C. limicola* ІМВ К-8 (рис. 4). Якщо у клітинах, вирощених у середовищі з 4 мМ гідроген сульфід, рівень глюкози становив 8,89 мг/г сухої маси клітин, то у клітинах, вирощених у середовищі з 10 мМ гідроген сульфід, її вміст становив 11,52 мг/г сухої маси клітин. Рівень глікогену із зростанням концентрації гідроген сульфід у середовищі незначно зростає від 45,13 мг/г сухої маси клітин у бактерій, вирощених у середовищі з 4 мМ гідроген сульфід, до 63,64 мг/г сухої маси клітин у бактерій, вирощених у середовищі з 10 мМ гідроген сульфід. За впливу йонів Fe (III) рівень глюкози та глікогену в клітинах, вирощених у середовищі із зростаючим вмістом гідроген сульфід, незначно знижувався, порівняно з клітинами, що не були інкубовані зі сіллю металу. Вміст глюкози у клітинах, вирощених у середовищі з 4 мМ гідроген сульфід, становив 7,15 мг/г сухої маси клітин, а у клітинах, вирощених у середовищі з 10 мМ гідроген сульфід, її рівень сягав 9,43 мг/г сухої маси клітин. Вміст глікогену у бактерій, вирощених у середовищі з 4 мМ гідроген сульфід, становив 39,72 мг/г сухої маси клітин, а у бактерій, вирощених у середовищі з 10 мМ гідроген сульфід, його рівень не перевищував 51,38 мг/г сухої маси клітин. Таким чином, встановлено, що інгібування рівня росту *C. limicola* ІМВ К-8 йонами феруму (III) не поєднується зі синтезом їх клітинами підвищених кількостей глікогену, очевидно, у зв'язку з блокуванням у них окремих ланок анаболізму вуглеводів.

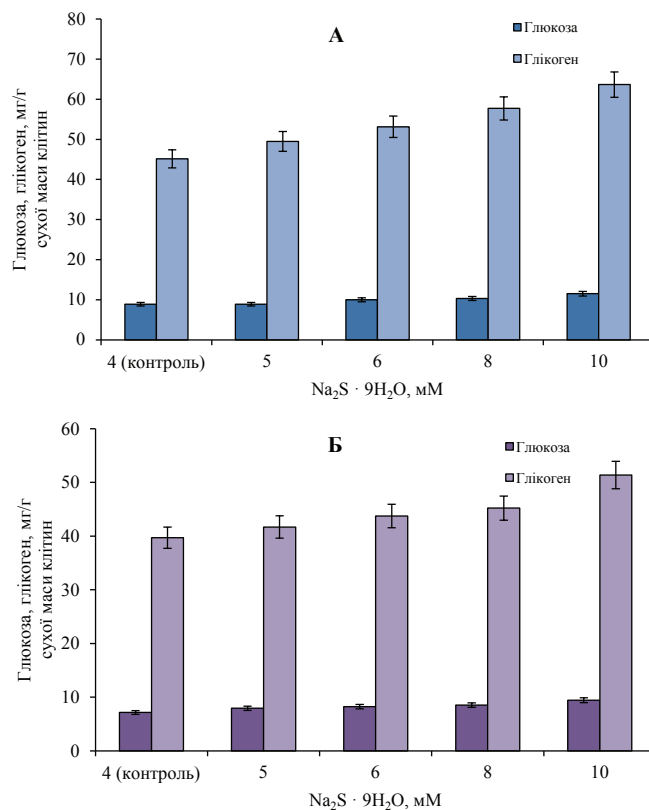


Рис. 4. Рівень внутрішньоклітинної глюкози та глікогену у *C. limicola* ІМВ К-8 без (А) і за впливу 3 мМ йонів феруму (III) (Б) після 10 діб росту в середовищі з гідроген сульфідом за різних концентрацій.

Отже, виявлено, що катіони двовалентних металів за концентрацій 1–4 мМ інгібують ріст, здатність фотолітотрофних сіркобактерій окиснювати гідроген сульфід і пригнічують синтез клітинами зелених сіркобактерій ендогенних вуглеводів. Встановлено, що катіони тривалентного феруму за концентрації 3 мМ зменшують рівень нагромадження біомаси й окиснення гідроген сульфиду фотолітотрофними сіркобактеріями, але не впливають на синтез глюкози і глікогену клітинами зелених сіркобактерій.

Токсичність іонів важких металів, сульфатів і гідроген сульфиду за високих концентрацій є значною перешкодою використання бактерій циклу сульфуру в очисних технологіях. За наявності у середовищі катіонів двовалентних металів вони зв'язуються утворенням сульфат- і сірководновлювальними бактеріями гідроген сульфідом у вигляді нерозчинних сульфідів і таким чином вилучаються з природного кругообігу. Ці мікроорганізми також здатні використовувати йони важких металів зі змінною валентністю як акцептори електронів. При цьому відбувається їх ферментативне відновлення і перетворення до менш токсичних форм [18, 21]. Зменшення вмісту важких металів у водному довіллі, у свою чергу, сприяє інтенсифікації життєдіяльності фотолітотрофних сіркобактерій, які утилізують надлишок гідроген сульфиду в анаеробній зоні водойм, утворюючи при цьому цінні біологічно активні речовини, такі як глікоген. Дослідження властивостей штамів бактерій циклу сульфуру, високорезистентних до несприятливих факторів довкілля, а також розуміння механізмів взаємодії представників сіркометаболізуючого мікробіоценозу зі сульфатами, гідроген сульфідом і важкими металами відкривають великі перспективи для створення новітніх технологій захисту водних ресурсів від небезпечних забруднювачів. Отримані результати можуть бути підставою для врахування стійкості фотолітотрофних сіркобактерій до йонів плумбуму, цинку, нікелю, кобальту, феруму, кадмію, магнію, купруму як інтегрального показника відгуку мікробіоти біоценозів прісних водойм на антропогенне забруднення в комплексному екологічному моніторингу водних екосистем.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Антипчук А. Ф. Микробиологический контроль в прудовых хозяйствах. К.: Наук. думка, 1971. 186 с.
2. Гайдін А. М., Зозуля І. І. Нові озера Львівщини. Львів, 2009. 105 с.
3. Галушка А., Перетятко Т., Гудзь С. Бактерії циклу сірки та їхня роль у природі // Вісн. Львів. ун-ту. Сер. біол. 2007. Вип. 43. С. 61–77.
4. Гончар М. В. Чутливий метод кількісного визначення пероксиду водню та субстратів оксидаз у біологічних об'єктах // Укр. біохім. журнал. 1998. Т. 70. № 5. С. 157–163.
5. Горішний М., Гудзь С., Гнатуш С. Метаболізм глюкози та глікогену у клітинах зелених фотосинтезуювальних сіркових бактерій *Chlorobium limicola* Ya-2002 // Вісн. Львів. ун-ту. Сер. біол. 2008. Вип. 46. С. 129–136.
6. Горленко В. М., Дубинина Г. А., Кузнецов С. И. Экология водных микроорганизмов. М.: Наука, 1977. 287 с.
7. Грабович М. Ю. Участие прокариот в круговороте серы // Соросовский образовательный журнал. 1999. № 12. С. 16–20.
8. Гудзь С., Гнатуш С., Баран І. та ін. Поширення сульфатредуючих бактерій у водних біотопах Яворівського сіркового родовища // Вісн. Львів. ун-ту. Сер. біол. 2002. Вип. 29. С. 144–148.
9. Кіт Л. Я., Гудзь С. П. Пурпурові сіркобактерії з водойм Яворівського родовища сірки // Мікробіол. журнал. 2007. Т. 69. № 1. С. 12–19.
10. Кондратьева Е. Н. Метаболізм углерода у фототрофных бактерий (пурпурных и зелёных) // Успехи микробиологии. 1978. Т. 9. С. 8–29.

11. Кондратьева Е. Н., Максимова И. В., Самойлов В. Д. Фотосинтезирующие бактерии. М.: Изд-во Москов. ун-та, 1989. С. 6–82.
12. Кондратьева Е. Н. Фотосинтезирующие микроорганизмы. М.: Изд-во Москов. ун-та, 1989. 374 с.
13. Кондратьева Е. Н. Хемолитотрофы и метилотрофы. М.: Изд-во Москов. ун-та, 1983. 172 с.
14. Кузнецов С. И. Микрофлора озёр и её биохимическая деятельность. М.: Мир, 1972. 362 с.
15. Кушкевич І., Гнатуш С., Гудзь С. Вплив важких металів на клітини мікроорганізмів // Вісн. Львів. ун-ту. Сер. біол. 2007. Вип. 45. С. 3–28.
16. Мороз О. М., Клим І. Р., Подопрігора О. І., Борсукевич Б. М. Вплив важких металів на ріст і окиснення сірководню фотосинтезувальними сіркобактеріями водойми кар'єру Яворівського сіркового родовища // Наук. вісн. Ужгород. ун-ту. Сер. біол. 2010. Вип. 28. С. 30–34.
17. Определитель бактерий Берджи: в 2 т. Т 2 / под ред. Дж. Хоулта, Н. Крига, П. Снита, Дж. Стейли, С. Уильямса. М.: Мир, 1997. 368 с.
18. Перетятко Т., Гудзь С., Галушка А. Використання металів як кінцевих акцепторів електронів сульфатвідновлювальними бактеріями // Біологічні студії / *Studia biologica*. 2009. Т. 3. № 3. С. 141–158.
19. Родина А. Г. Методы водной микробиологии: практ. руководство. М.; Л.: Наука, 1965. 363 с.
20. Узбек И. Х. Эколого-биологическая оценка эдафотопов техногенных ландшафтов степной зоны Украины: дис. ...д-ра биол. наук. Днепропетровск, 2001. С. 164–229.
21. Франк Ю. А., Лушников С. В. Биотехнологический потенциал сульфатредуцирующих бактерий // Экология и промышленность. 2006. № 1. С. 10–13.
22. Saumet P. Ecology and general physiology of anoxygenic phototrophic bacteria in benthic environments. In: *Microbial mats: physiological ecology of benthic microbial communities* / X. Coren and E. Rosenberg Eds. Washington: American Society for Microbiology, 2003. P. 383–404.
23. Ji G., Silver S. Bacterial resistance mechanisms for heavy metals of environmental concern // *J. Indust. Microbiol.* 1995. Vol. 14. P. 61–75.
24. *LGC Prochem: Certified reference materials.* 2007.
25. Oelze J. Analysis of bacteriochlorophylls // *Method Microbiol.* 1985. Vol. 18. P. 257–284.
26. Overmann J. Mahoney Lake: A case study of the ecological significance of phototrophic sulfur bacteria // *Adv. Microbiol. Ecol.* 1999. Vol. 15. P. 251–288.
27. Pimenov N., Rusanov I., Karnachuk O. V. et al. Microbial metabolism of the carbone and sulfur cycle in chira Lake Khakasia // *Microbiologia.* 2003. Vol. 72. N 2. P. 259–267.
28. Proct L. M. Nitrogen-fixing, photosynthetic, anaerobic bacteria associated with pelagic copepods // *Aquatic Microbiol. Ecology.* 1999. Vol. 12. P. 105–143.
29. Tacamaya K., Okamura K. *The phototrophic bacteria: Anaerobic life in the light.* London: PSP, 1983. 330 p.
30. Pat. 6340596 B1 USA, Int. U.G 01 N 33 / 00. Reagent composition for measuring hydrogen sulfide and method for measuring hydrogen / M. Sugiyama. Assignee Fujirebio Inc. – № 09 / 248. 316. fil. 02.11.1999. date of pat. 22.01.2002.

Стаття: надійшла до редакції 30.10.14

доопрацьована 14.02.15

прийнята до друку 10.03.15

GROWTH, HYDROGEN SULFIDE UTILIZATION AND ENDOGENOUS CARBOHYDRATES ACCUMULATION BY PHOTOLITHOTROPHIC SULFUR BACTERIA UPON THE INFLUENCE OF METAL IONS**O. Moroz, Ch. Pakush, G. Zvir, B. Borsukevych, A. Galushka***Ivan Franko National University of Lviv
4, Hrushevskiy St., Lviv 79005, Ukraine
e-mail: moroz_oksana@yahoo.com*

It was found that ions of bivalent metals (lead, zinc, nickel, cobalt, iron, cadmium, magnum and copper) at concentrations of 1–4 mM inhibit growth and ability of *Thiocapsa* sp. Ya-2003, *Lamprocystis* sp. Ya-2003 and *C. limicola* IMB K-8 to oxidize hydrogen sulfide. Cadmium ions revealed most negative effect on hydrogen sulfide utilization by bacteria. Upon influence of it was observed inhibition of endogenous carbohydrates synthesis by cells of *C. limicola* IMB K-8. It was shown that biomass accumulation and hydrogen sulfide utilization level by cells decrease with increasing of $\text{Na}_2\text{S} \times 9 \text{H}_2\text{O}$ concentrations in medium at 1.25–2.5 fold. Purple sulfur bacteria revealed less resistant to 2–3 mM of $\text{FeC}_6\text{H}_5\text{O}_7$, compared to green sulfur bacteria. It was found that ions of iron (III) at concentration of 3 mM inhibit biomass accumulation and hydrogen sulfide oxidation level by photolithotrophic sulfur bacteria but don't stimulate glucose and glycogen synthesis by cells of *C. limicola* IMB K-8.

Keywords: photolithotrophic sulfur bacteria, heavy metals, hydrogen sulfide, glycogen.

РОСТ, ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГИДРОГЕН СУЛЬФИДА И НАКОПЛЕНИЕ ЭНДОГЕННЫХ УГЛЕВОДОВ ФОТОЛИТОТРОФНЫМИ СЕРОБАКТЕРИЯМИ ПОД ВЛИЯНИЕМ ИОНОВ МЕТАЛЛОВ**О. Мороз, Х. Пакуш, Г. Звир, Б. Борсукевич, А. Галушка***Львовский национальный университет имени Ивана Франко
ул. Грушевского, 4, Львов 79005, Украина
e-mail: moroz_oksana@yahoo.com*

Установлено, что катионы двухвалентных металлов (плюмбума, цинка, никеля, кобальта, феррума, кадмия, магния, купрума) при концентрациях 1–4 мМ ингибируют рост и способность *Thiocapsa* sp. Ya-2003, *Lamprocystis* sp. Ya-2003 и *C. limicola* IMB K-8 окислять гидроген сульфид. Наибольшее негативное воздействие на утилизацию гидроген сульфида бактериями оказали ионы кадмия, под влиянием которых наблюдали угнетение синтеза клетками *C. limicola* IMB K-8 эндогенных углеводов. Показано, что уровень накопления биомассы и утилизации гидроген сульфида клетками снижается с возрастанием в 1,25–2,5 раза концентрации $\text{Na}_2\text{S} \times 9 \text{H}_2\text{O}$ в среде. Пурпурные серобактерии оказались менее устойчивыми к 2–3 мМ $\text{FeC}_6\text{H}_5\text{O}_7$, по сравнению с зелёными серобактериями. Установлено, что катионы феррума (III) при концентрации 3 мМ угнетают уровень накопления биомассы и окисления гидроген сульфида фотолитотрофными серобактериями, но не стимулируют синтез глюкозы и гликогена клетками *C. limicola* IMB K-8.

Ключевые слова: фотолитотрофные серобактерии, тяжёлые металлы, гидроген сульфид, гликоген.