



УДК 579.2:579.695

ВИКОРИСТАННЯ СУЛЬФАТУ І НІТРАТУ СУЛЬФАТВІДНОВЛЮВАЛЬНИМИ БАКТЕРІЯМИ *DESULFOMICROBIUM SP.* CrR3 ЗА НАЯВНОСТІ БІХРОМАТУ В СЕРЕДОВИЩІ

К. В. Шоляк, Т. Б. Перетятко, Н. С. Верхоляк, С. П. Гудзь

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

Досліджено використання сульфатвідновлювальними бактеріями *Desulfomicrobium sp.* CrR3 натрій сульфату і натрій нітрату за наявності калій біхромату в середовищі. Показано, що оптимальними концентраціями сульфату, нітрату і біхромату для росту бактерій були 5, 5, та 0,5 мМ відповідно. За наявності нітрату концентрацією 5 мМ рівень нагромадження біомаси був вищим, ніж за наявності відповідної кількості сульфату. Збільшення концентрацій сульфату і нітрату до 15 мМ, а біхромату до 1 мМ призводило до сповільнення росту бактерій. За умов одночасної наявності сульфату і біхромату в середовищі культивування першим використовувався біхромат. За цих умов використання сульфату пригнічувалось. Інгібуюча дія біхромату на процес сульфатредукції залежала від його концентрації у середовищі. Використання сульфату й утворення гідроген сульфіду в середовищі з біхроматом спостерігалось лише за наявності у середовищі залишкових концентрацій $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$. Внесення у середовище нітрату й біхромату супроводжувалось пригніченням використання нітрату і сповільнення росту бактерій *Desulfomicrobium sp.* CrR3 порівняно з ростом та використанням нітрату у середовищі, що містило тільки іони нітрату.

Ключові слова: сульфатвідновлювальні бактерії, сульфатредукція, нітратредукція, біхромати, нітрати, сульфати.

ВСТУП

Упродовж останніх років все більше уваги приділяється здатності бактерій використовувати різні елементи зі змінним ступенем окиснення як кінцеві акцептори електронів [2, 20]. Перспективними у цьому напрямі є сульфатвідновлювальні бактерії, які відновлюють сульфат до гідроген сульфіду. Описані представники сульфатвідновлювальних бактерій, що здатні до нітрат- [10] і хроматредукції [19]. Механізми резистентності до іонів хромату зумовлені експресією плазмідних чи хромосомних генів. Гени, що локалізовані у плазміді, контролюють вихід іонів хромату з клітини, хромосомні гени забезпечують специфічне і неспецифічне відновлення хромату, утворення вільних радикалів, що мінімізують токсичність хроматів, репарацію пошкодженої ДНК тощо [18]. М. Вайнштейн і співат. встановили, що гідроген

сульфід, який продукується у процесі сульфатредукції, здатний підсилювати хроматредукцію внаслідок його взаємодії зі сполуками хрому (VI). Цей процес відбувається з утворення хром-сульфур вмісного комплексу $\{H_2O_4Cr^VI S\}^{2-}$ та подальшим утворенням $Cr(OH)_3$ [20]. Послідовність відновлення змінновалентних елементів мікроорганізмами за їх одночасної наявності у середовищі з'ясована недостатньо. На думку багатьох дослідників, вона визначається електрохімічними закономірностями: у першу чергу відновлюються ті хімічні елементи, стандартний окисно-відновлювальний потенціал яких вищий [2].

Раніше було показано, що сульфатвідновлювальні бактерії *Desulfomicrobium* sp. CrR3 за браку сульфату можуть використовувати нітрат і біхромат як кінцеві акцептори електронів [8]. Метою роботи було дослідити закономірності використання сульфатвідновлювальними бактеріями *Desulfomicrobium* sp. CrR3 солей сульфату та нітрату за наявності у середовищі калій біхромату.

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

У роботі використовували резистентні до хрому сульфатвідновлювальні бактерії *Desulfomicrobium* sp. CrR3, виділені зі стічних вод очисних споруд м. Львова [7, 8].

Бактерії культивували у середовищі Постгейта С такого складу (г/л): калій дигідрофосфат – 0,5; натрій хлорид – 3,7; кальцій хлорид гексагідрат – 0,06; магній хлорид гексагідрат – 0,055; натрій лактат – 6; дріжджовий екстракт – 1; натрій цитрат дигідрат – 0,3; рН середовища – 7,6 [5]. Бактерії культивували у пробірках за температури +30°C, об'ємом 25 мл, за анаеробних умов. Для дослідження здатності використовувати сульфат, нітрат і біхромат бактерії культивували упродовж шести діб у середовищі Постгейта С. Біхромат, нітрат і сульфат вносили у формі водних розчинів $K_2Cr_2O_7$, $NaNO_3$, $Na_2SO_4 \times 10H_2O$, відповідно, після стерилізації у концентраціях 0,1–15 мМ. Початкова концентрація клітин становила 0,1 г/л.

Анаеробні умови забезпечували кип'ятінням і швидким охолодженням середовища культивування, що призводить до зменшення в ньому розчинного кисню, а також додаванням аскорбінової кислоти чи Na_2S . Пробірки повністю заповнювали середовищем і закривали гумовими корками [5]. Анаеробні умови контролювали за допомогою індикатора анаеробних умов – резазурину (Oxoid, BR 0055B).

Біомасу визначали турбідиметрично на фотоелектроколориметрі КФК-3. Вміст біхромату визначали спектрофотометрично дифенілкарбазидним методом [15]. Для визначення Cr (III) використовували хромазуrol S [13]. Вміст сульфатів визначали турбідиметрично після їх осадження барій хлоридом. Для стабілізації суспензії використовували гліцерин [1]. Кількість гідроген сульфіду визначали у культуральній рідині фотометрично з використанням *n*-амінодиметиланілін-дигідрохлориду [17]. Вміст нітратів визначали спектрофотометрично за допомогою реактиву *n*-нафтилетилендіаміндихлориду, після їх відновлення до нітритів цинковим порошком [11].

Статистичне оброблення результатів проводили за Г. Лакіним [3]. Досліди проводили у трикратній повторності. Результати представлені як середнє значення з поправкою на стандартну похибку ($M \pm m$). Достовірність даних і різниці між ними оцінювали за коефіцієнтом Стьюдента. Відмінність між величинами вважали достовірною, коли ймовірність різниці "Р" була меншою 0,05.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ І ЇХНЕ ОБГОВОРЕННЯ

Встановлено здатність сульфатвідновлювальних бактерій *Desulfomicrobium* sp. CrR3 нагромаджувати біомасу за різних концентрацій натрій сульфату, натрій нітрату

і калій біхромату. Досліджено нагромадження біомаси за наявності у середовищі різних концентрацій біхромату, сульфату і нітрату (рис. 1). На цьому добу культивування, бактерії нагромаджують значно більшу біомасу в середовищі з натрій нітратом як єдиним акцептором електронів, збільшення концентрації іонів нітрату до 15 мМ не призводило до пригнічення росту мікроорганізмів. У середовищі зі сульфатом, що був єдиним акцептором електронів, біомаса була нижча на 25%, порівняно з біомасою у середовищі, що містило натрій нітрат. За умов збільшення концентрації іонів сульфату до 15 мМ ріст мікроорганізмів сповільнювався. Біхромат пригнічував ріст бактерій у концентрації 0,5 мМ в 1,6 разу, а за концентрації 1 мМ нагромадження біомаси знижувалось у 2,7 разу порівняно з ростом за концентрації 0,1 мМ.

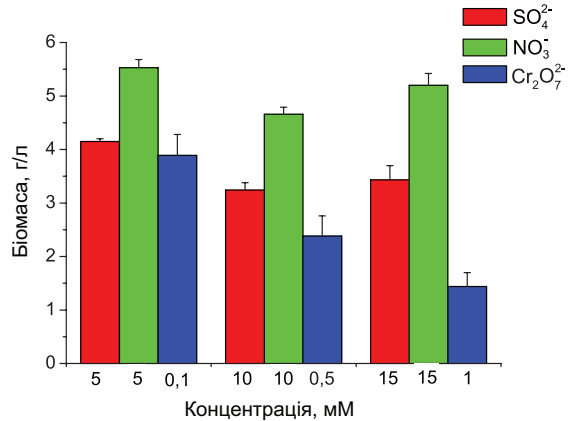


Рис. 1. Дозозалежний вплив іонів нітрату, сульфату і біхромату на ріст бактерій *Desulfomicrobium sp. CrR3*

Fig. 1. Dose-dependent effect of ions nitrate, sulfate and bichromate on grown of bacteria *Desulfomicrobium sp. CrR3*

Оскільки, сульфат і нітрат у концентрації 5 мМ забезпечували більший рівень нагромадження біомаси (порівняно з концентраціями 10 та 15 мМ), ця концентрація була використана для подальших досліджень. Крім того, для вивчення впливу різних концентрацій сульфату і нітрату використовували нижчу концентрацію (2 мМ) та вищу (7 мМ), адже саме такі концентрації сульфатів були виявлені у промислових та побутових стічних водах.

За одночасного внесення у середовище культивування сульфату (2, 5, 7 мМ) та біхромату (0,5 мМ) спостерігалось пригнічення росту бактерій, порівняно з ростом у середовищі, в якому був наявний лише сульфат (рис. 2, А). Найвищий рівень інгібування спостерігався у середовищі, що містило 2 і 5 мМ іонів сульфату. У середовищі, де концентрація SO₄²⁻ була найвищою (7 мМ), інгібування росту біхроматом було виражене слабше.

Відомо, що транспорт іонів хрому в клітину відбувається за участю сульфат-транспортної системи [12]. Очевидно, саме конкуренція за транспортні системи є причиною зниження вмісту сульфатів у клітині. Це припущення підтверджується даними рис. 2, Б, на якому показано використання різних концентрацій сульфату бактеріями *Desulfomicrobium sp. CrR3* за наявності 0,5 мМ біхромату. За наявності біхромату, рівень сульфату в середовищі знижувався у перші дні культивування (перша–друга доба), а потім практично не змінювався (рис. 3). На п'яту добу культивування, майже після повного використання бактеріями біхромату, сульфатредукція відновлювалася, про що свідчило інтенсивне виділення гідроген сульфіді (табл. 1).

Калій біхромат пригнічував сульфатредукцію й утворення гідроген сульфіді бактеріями *Desulfomicrobium sp. CrR3*, подібні результати отримали В. Л. Сміт і співавтор [19] за умов культивування змішаної культури сульфатвідновлювальних бактерій

у середовищі з сульфатом і хроматом. А. Клоновська та співавт. [14] показали, що час інгібування сульфатредукції у *Desulfovibrio vulgaris* Hildenborough прямо пропорційний концентрації хромату в середовищі. У разі збільшенні концентрації хромату час інгібування сульфатредукції зростає.

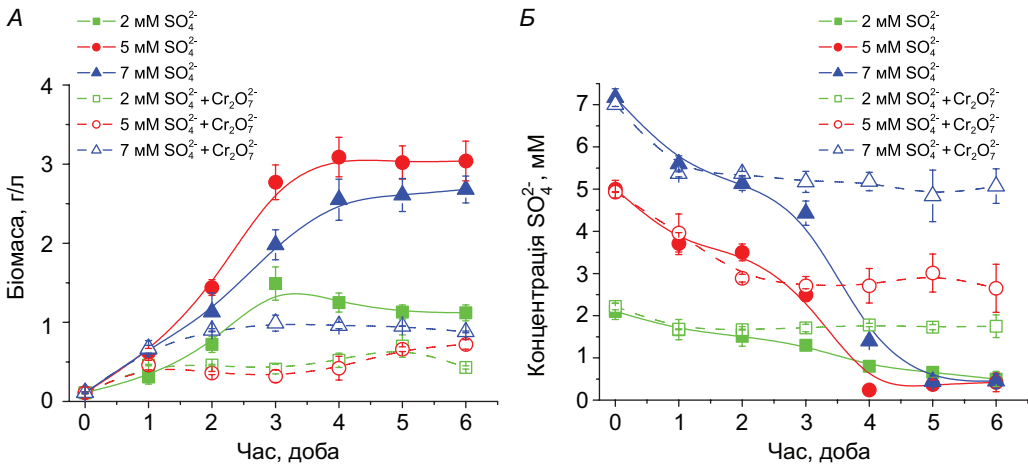


Рис. 2. Нагромадження біомаси (А) і використання сульфату (Б) бактеріями *Desulfovibrio* sp. CrR3 у середовищі без біхромату (—) та за наявності 0,5 мМ біхромату (---)

Fig. 2. Accumulation of biomass (A) and utilization sulphate (B) by bacteria *Desulfovibrio* sp. CrR3 in the medium without bichromate (—) and in the present 0.5 mM bichromate(---)

Таблиця 1. Утворення H₂S бактеріями *Desulfovibrio* sp. CrR3 у середовищах зі сульфатом і біхроматом

Table 1. Production H₂S by bacteria *Desulfovibrio* sp. CrR3 in the medium supplemented with sulphate and chromate

Доба	Концентрація H ₂ S, мМ						Концентрація Cr ₂ O ₇ ²⁻ , мМ
	Середовища зі сульфатом			Середовища зі сульфатом і біхроматом			
	2 mM SO ₄ ²⁻	5 mM SO ₄ ²⁻	7 mM SO ₄ ²⁻	2 mM SO ₄ ²⁻	5 mM SO ₄ ²⁻	7 mM SO ₄ ²⁻	
1	0,13±0,50	1,08±0,05	1,08±0,09	0,19±0,06	0,58±0,11	0,46±0,29	0,47±0,04
2	0,15±0,03	2,89±0,03	2,89±0,09	0,23±0,18	0,34±0,10	0,36±0,15	0,41±0,02
3	0,27±0,07	2,83±0,31	4,61±0,13	0,24±0,05	0,43±0,12	0,39±0,11	0,38±0,18
4	0,58±0,10	4,37±0,09	6,52±0,16	0,58±0,11	0,51±0,17	0,64±0,06	0,28±0,14
5	1,34±0,16	5,05±0,12	7,05±0,08	1,03±0,26	0,66±0,33	2,67±0,56	0,20±0,10
6	2,17±0,23	5,01±0,23	7,09±0,23	1,23±0,14	2,43±0,01	2,83±0,01	0,13±0,03

Досліджено нагромадження біомаси і використання біхромату бактеріями *Desulfovibrio* sp. CrR3 за наявності у середовищі сульфату (5 мМ) (рис. 3, А). Результати свідчать, що у середовищах із різними концентраціями біхромату цей акцептор забезпечував такий самий ріст бактерій, як і у випадку росту в середовищі з сульфатом. За цих умов нагромадження біомаси мало подібні закономірності як і у середовищі зі сульфатом (рис. 2, А). Додавання до середовища з біхроматом сульфату в концентрації 5 мМ не змінювало закономірностей росту бактерій, однак за цих умов виявлялися певні відмінності в поглинанні біхромату зі середовища (рис. 3, Б).

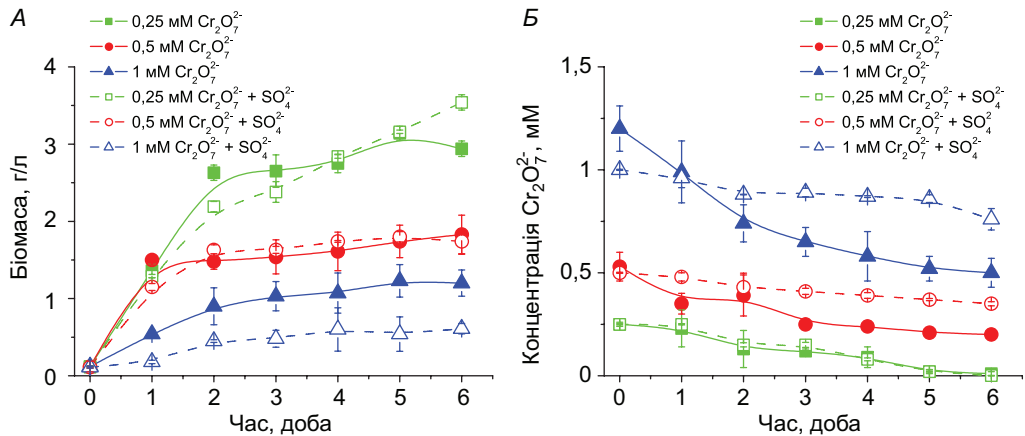


Рис. 3. Нагромадження біомаси (А) і використання біхромату (Б) бактеріями *Desulfomicrobium sp. CrR3* у середовищі з біхроматом без сульфату (—), та за наявності 5 мМ сульфату (---)

Fig. 3. Accumulation of biomass (A) and utilization bichromate (B) by bacteria *Desulfomicrobium sp. CrR3* in the medium without sulphate with bichromate (—) and in the present 0.5 mM sulphate (---)

За низьких концентрацій біхромат поглинався однаково як за наявності іонів сульфату, так і за їх браку в середовищі. За умов збільшення концентрації біхромату у середовищі зі сульфатом спостерігалось зниження швидкості його використання, порівняно з середовищем, що не містило сульфату. Подібні результати були отримані Г. Ф. Смирновою та співавт. [6] за умов вирощування *Pseudomonas sp. 10* у середовищі з біхроматом (0,25 мМ) та різними концентраціями сульфату (15–120 мг/л). У цьому випадку спостерігалось інгібування хроматредукції на 24 год культивування з подальшим її відновленням на 48 год. Для деяких консорцій сульфатвідновлювальних бактерій описана протилежна дія [16]. Автори встановили позитивний вплив сульфату на відновлення низьких концентрацій хромату (0,1–0,3 мМ). На відміну від цих результатів, у сульфатвідновлювальних бактерій *Desulfomicrobium sp. CrR3* за таких низьких концентрацій біхромату (0,25 мМ) інгібування хроматредукції сульфатом не виявлялось.

У подальших експериментах дослідили вплив біхромату на ріст і використання нітрату бактеріями *Desulfomicrobium sp. CrR3* (рис. 4, А, Б). Виявилось, що за наявності у середовищі біхромату і нітрату спостерігалось першочергове відновлення біхромату і практично повне пригнічення використання нітрату.

У попередніх роботах нами було встановлено, що Cr (VI) відновлюється бактеріями *Desulfomicrobium sp. CrR3* до Cr (III), а нітрат до нітриту й амонію [8]. Упродовж шести діб культивування концентрація шестивалентного хрому знизилась у два рази, а вміст нітрату лише на 14%. У контрольних середовищах, без біхромату, на третю добу культивування було виявлено залишкові концентрації нітрату. Пригнічення нітратредукції за наявності біхромату спостерігали В. В. Коновалова та співавт. у аеробних бактерій *Pseudomonas fluorescens var. pseudo-iodinum*, однак механізми такої взаємодії залишаються нез'ясованими [2]. Подібно до *P. fluorescens*, *Desulfomicrobium sp. CrR3* за браку біхромату в середовищі за дві доби культивування повністю використовували нітрат. Однак у *Desulfomicrobium sp. CrR3* швидкість відновлення Cr (VI) у 2–3 рази вища, ніж за умов культивування *P. fluorescens*. Очевидно, послідовність відновлення Cr (VI) та нітрату обумовлена значенням окисно-відновного потенціалу.

А. Клоновська та співавтори дослідили, що значення окисно-відновного потенціалу середовища, яке містить 0,1 мМ хромату, зростає порівняно з окисно-відновним потенціалом середовища без хромату [14]. За умов культивування відмитих клітин *D. vulgaris* $E^{\circ} = -200$ мВ, додавання 0,05 мМ хромату призводить до зростання окисно-відновного потенціалу, який становить -121 ± 9 мВ, що необхідно для ініціації росту сульфатвідновлювальних бактерій.

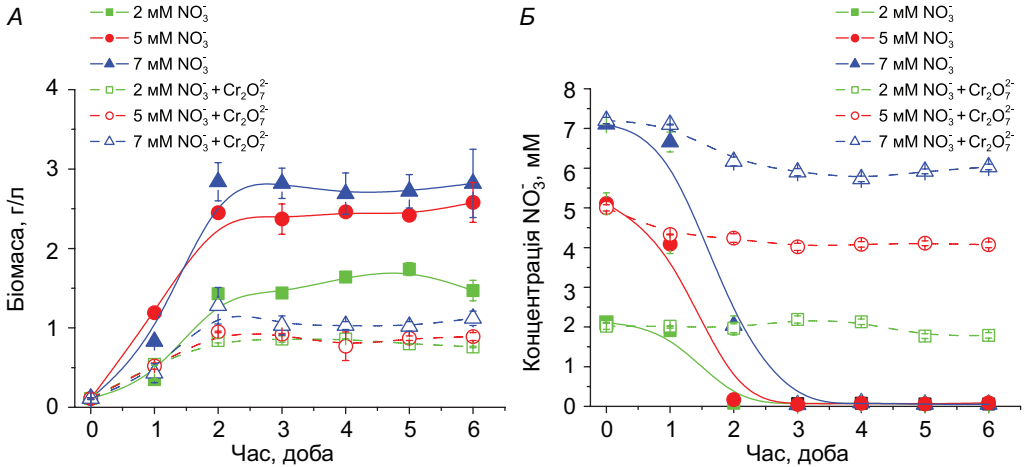


Рис. 4. Нагромадження біомаси (А) і використання нітрату (Б) бактеріями *Desulfomicrobium* sp. CrR3 у середовищі з біхроматом (0,5 мМ) (---) та без біхромату (—)

Fig. 4. Accumulation of biomass (A) and utilization of nitrate (B) by bacteria *Desulfomicrobium* sp. CrR3 in the medium supplemented with chromate (0,5 mM) (---) and without chromate (—)

Сульфатвідновлювальні бактерії розглядаються як перспективні організми для очищення навколишнього середовища від забруднювачів [9]. Наші дослідження показали, що виділені нами бактерії *Desulfomicrobium* sp. CrR3 є перспективними для біологічного очищення навколишнього середовища від біхроматів, сульфатів і нітратів. Використовуючи біхромат, сульфат і нітрат у процесах анаеробного дихання, вони детоксикують ці небезпечні компоненти. Досліджувані мікроорганізми можуть використовувати біхромат, а за його вичерпання нітрат і сульфат, тим самим очищувати середовище від досліджуваних сполук як за наявності кожної з них окремо, так і за присутності кількох забруднювачів одночасно. На нашу думку, ця властивість бактерій може бути використана в біотехнологічних процесах з очищення навколишнього середовища.

ВИСНОВОК

Показано, що оптимальними концентраціями сульфату, нітрату і біхромату для росту сульфатвідновлювальних бактерій *Desulfomicrobium* sp. CrR3 є 5, 5, та 0,5 мМ, відповідно. Натрій нітрат у концентрації 5 мМ забезпечує нагромадження більшого рівня біомаси мікроорганізмів, ніж натрій сульфат у зазначеній концентрації. За наявності у середовищі культивування калій біхромату відновлення іонів нітрату і сульфату пригнічується. Інгібуюча дія біхромату на процес сульфат- і нітратредукції залежить від концентрації калій біхромату в середовищі.

1. ГОСТ 26426-85. **Почвы. Метод определения ионов сульфата в водной вытяжке.** М.: Изд-во стандартов, 1985.
2. Коновалова В.В., Дмитренко Г.М., Бурбан А.Ф. та співавт. Послідовність відновлення шестивалентного хрому та нітрату в мембранному біореакторі. **Магістеріум**, 2006; 24:14–20
3. Лакин Г. Ф. **Биометрия.** М.: Высшая школа, 1990. 352 с.
4. Перетятко Т.Б., Гудзь С.П. Відновлення сполук шестивалентного хрому сульфатвідновлювальними бактеріями. **Біологічні студії**, 2010; 4(2): 39–48.
5. Розанова Е.П. Методы культивирования и идентификации анаэробных бактерий, восстанавливающих серу и ее окисленные соединения. **Теоретические и методические основы изучения анаэробных микроорганизмов**, 1978; 123–136.
6. Смирнова Г.Ф., Подгорский В.С. Восстановление бихроматов *Pseudomonas* sp. шт. 10 в присутствии некоторых тяжелых металлов и альтернативных акцепторов электронов. **Мікробіологічний журнал**, 2013; 75(4): 8–12.
7. Шоляк К.В., Перетятко Т.Б., Гудзь С.П. Хромрезистентні сульфатвідновлювальні бактерії, виділені із стічних вод промислових підприємств. В кн. **Фундаментальні та прикладні дослідження в біології:** Матер. II міжнар. наук. конф. студентів, аспірантів та молодих учених (м. Донецьк 19–22 вересня 2011 р.). Донецьк, 2011: 269.
8. Шоляк К.В., Перетятко Т.Б., Гудзь С.П. Сульфатвідновлювальні бактерії, стійкі до підвищених концентрацій шестивалентного хрому. **Мікробіологія і біотехнологія**, 2013; 2: 66–76.
9. Франк Ю.А., Лушников С.В. Биотехнологический потенциал сульфатредуцирующих бактерий. **Экология и промышленность России**, 2006; 1: 10–13.
10. Dalsgaard T., Friedhelm B. Nitrate Reduction in a Sulfate-Reducing Bacterium, *Desulfovibrio desulfuricans*, Isolated from Rice Paddy Soil: Sulfide Inhibition, Kinetics, and Regulation. **Applied and Environmental Microbiology**, 1994; 1: 291–297.
11. Granger D.L., Taintor R.R., Boockvar K.S. et al. Measurement of nitrate and nitrite in biological samples using nitrate reductase and Griess reaction. **Methods in Enzymology**, 1996; 268: 142–151.
12. Holland S. L., Avery S. V. Chromate toxicity and the role of sulfur. **Metallomics**, 2011; 3: 1119–1123.
13. Honchar T.M., Ksheminska H.P., Patsay I.O. et al. Assay of chromium (III) in microbial cultures using chromazurol S and surfactants for monitoring chromate remediation processes. **Біотехнологія**, 2008; 1(4): 85–94.
14. Klonowska A., Clark M. E., Thieman S. B. et al. Hexavalent chromium reduction in *Desulfovibrio vulgaris* Hildenborough causes transitory inhibition of sulfate reduction and cell growth. **Appl. Microbiol. Biotechnol**, 2008; 78: 1007–1016.
15. Marchart H. Über die Reaktion von Chrom mit Diphenylcarbazon und Diphenylcarbazol. **Analytica Chimica Acta**, 1964; 196(30):11– 17.
16. Martins M., Santos E.S., Faleiro M.L. et al. Bioremediation studies of chromium (VI) using sulphate-reducing bacteria. **IV European BioRemediation Conference** (September 3–6, 2008 Chania). Chania, 2008: 1–3.
17. Pat. 6,340,596 B1 USA, Int. Cl. G 01 N 33/00. **Reagent composition for measuring hydrogen sulfide and method for measuring hydrogen.** Sugiyama M., assignee Fujirebio Inc. – N 09/248,316 ; fil. 02.11.1999 ; date of pat. 22.01.2002.
18. Ramirez-Dias M., Diaz-Peres C., Vargas E. et al. Mechanisms of bacterial resistance to chromium compounds. **Biometals**, 2008; 21: 321–332.
19. Smith W.L., Gadd G.M. Reduction and precipitation of chromate by mixed culturesulphate-reducing bacterial biofilms. **Journal of Applied Microbiology**, 2000; 88: 983–991.
20. Vainshtein M., Kuschik P., Mattusch J. et al. Model experiments on the microbial removal of chromium from contaminated groundwater. **Water Research**, 2003; 37: 1401–1405.

**UTILIZATION OF SULFATE AND NITRATE BY SULFATE-REDUCING BACTERIA
DESULFOMICROBIUM SP. CrR3 IN THE PRESENCE OF BICHROMATE IN THE MEDIUM****K. V. Sholiak, T.B. Peretyatko, N. S. Verkholyak, S. P. Gudz***Ivan Franko National University of Lviv, 4, Hrushevskiyi St., Lviv 79005, Ukraine
e-mail: sholjak@gmail.com*

The usage of sodium sulfate and sodium nitrate in the presence of potassium bichromate in the medium by sulfate-reducing bacteria *Desulfomicrobium* sp. CrR3 was studied. It was shown that 5 mM of nitrate, 5 mM of sulfate and 0.5 mM of bichromate were optimal conditions for the bacterial growth. The nitrate in concentration of 5 mM provides better growth of microorganisms than 5 mM sulfate. An increase of sulfate and nitrate concentrations to 15 mM and bichromate to 1 mM led to slower bacterial growth. In the presence of bichromate and sulfate in the medium, the chromium was used first, here-with utilisation of sulfate was inhibited. Influence of bichromate on sulfate reduction depends on bichromate concentration in the medium. It was found that sulfate reduction and hydrogen sulfide formation in the presence of bichromate started after usage of bichromate. The presence of nitrate and bichromate in the medium led to the inhibition of *Desulfomicrobium* sp. CrR3 growth and nitrate reduction, compared to the bacteria growth and nitrate reduction in the medium that contains nitrate only.

Keywords: sulfate-reducing bacteria, sulfate reduction, bichromate, nitrate, sulfate.

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СУЛЬФАТА И НИТРАТА СУЛЬФАТРЕДУЦИРУЮЩИМИ
БАКТЕРИЯМИ *DESULFOMICROBIUM* SP. CrR3 ПРИ НАЛИЧИИ В СРЕДЕ БИХРОМАТА****Е. В. Шоляк, Т. Б. Перетятко, Н. С. Верхоляк, С. П. Гудзь***Львовский национальный университет имени Ивана Франко,
ул. Грушевского, 4, Львов 79005, Украина
e-mail: sholjak@gmail.com*

Исследовано использование сульфатредуцирующими бактериями *Desulfomicrobium* sp. CrR3, натрий сульфата и натрий нитрата при наличии в среде калий бихромата. Показано, что оптимальными концентрациями сульфата нитрата и бихромата для роста бактерий были 5, 5, и 0,5 mM соответственно. При наличии нитрата в концентрации 5 mM уровень накопления биомассы был выше, чем при наличии соответствующего количества сульфата. Увеличение концентраций сульфата и нитрата к 15 mM, а бихромата к 1 mM приводит к замедлению роста бактерий. В условиях одновременного наличия сульфата и бихромата в среде культивирования первым использовался бихромат. При этом использование сульфата угнеталось. Ингибирующее влияние бихромата на процесс сульфатредукции зависело от концентрации бихромата в среде. Использование сульфата и образование сероводорода в присутствии бихромата начиналось только при наличии в среде остаточных концентраций бихромата. При наличии в среде нитрата и бихромата наблюдалось угнетение использования нитрата и замедление роста бактерий *Desulfomicrobium* sp. CrR3 по сравнению с ростом и использованием нитрата в среде, которая содержала только нитрат.

Ключевые слова: сульфатредуцирующие бактерии, сульфатредукция, нитратредукция, бихроматы, нитраты, сульфаты.

Одержано: 04.09.2013