

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

Львівський національний університет імені Івана Франка,  
вул. Грушевського 4, Львів, 79005, Україна,  
тел: +38 (032) 239 40 53, e-mail: Sholjak@gmail.com

## СУЛЬФАТВІДНОВЛЮВАЛЬНІ БАКТЕРІЇ, СТІЙКІ ДО ПІДВИЩЕНИХ КОНЦЕНТРАЦІЙ ШЕСТИВАЛЕНТНОГО ХРОМУ

**Мета роботи.** Вивчити морфо-фізіологічні та біохімічні особливості сульфатвідновлювальних бактерій, стійких до підвищених концентрацій Cr (VI) та дослідити природу донорів та акцепторів електронів для них. **Методи.** Бактерії культивували у середовищах Постгейта В та Постгейта С за температури 30 °С у пробірках об'ємом 25 мл, за анаеробних умов. Біомасу визначали турбідиметрично на фотоелектроколориметрі КФК-3. Концентрацію Cr (VI) визначали спектрофотометрично дифенілкарбазидним методом. Для визначення Cr (III) використовували хромазуrol S. Вміст сульфатів визначали турбідиметрично після їх осадження барій хлоридом. **Результати.** Клітини бактерій мають овальну або паличкоподібну форму. Виділені сульфатвідновлювальні бактерії здійснюють неповне окиснення органічних сполук до ацетату, не утворюють спор, грамнегативні, облигатні анаероби, мезофіли. Оптимальною температурою для росту є 27–35 °С, рН = 7. Як кінцевий акцептор електронів сульфатвідновлювальні бактерії використовують сульфат. За відсутності сульфату в середовищі, бактерії використовують елементну сірку, фумарат, Cr (VI), Fe (III), нітрат як кінцеві акцептори електронів. За наявності сульфатів у середовищі культивування усі культури, як джерело карбону, використовують лактат, фумарат, піруват, сукцинат, малат, фруктозу, глюкозу, цитрат. Ацетат, етанол, бутанол, пропіонат, гліцерин не забезпечували їх росту. Досліджено вплив різних концентрацій хромату на ріст сульфатвідновлювальних бактерій. Показано закономірності використання хромату бактеріями та відновлення високотоксичного Cr (VI) до менш токсичного Cr (III). **Висновок.** Виділені бактерії були ідентифіковані як *Desulfomicrobium* sp. Ці сульфатвідновлювальні бактерії, на нашу думку, можуть бути використані для очистки водного середовища від сульфатів, нітратів та солей важких металів і в першу чергу шестивалентного хрому.

**Ключові слова:** хромрезистентні сульфатвідновлювальні бактерії, Cr(VI), сульфат.



Сульфатвідновлювальні бактерії це облигатні анаероби, які здійснюють окиснення органічних субстратів в процесі анаеробного сульфатного дихання, використовуючи сульфат як кінцевий акцептор електронів [5].

Деякі представники сульфатвідновлювальних бактерій як акцептор електронів можуть використовувати, крім сульфатів, Cr (VI), Pd (II), Mn (IV), Tc (VI), Fe (III), U (VI) та інші йони металів, а також нітрити і нітрати з таким же виходом енергії і навіть більшим, ніж при редукції сульфатів [5, 6].

Субстратом для живлення сульфатвідновлювальних бактерій можуть бути різні органічні сполуки (етанол, лактат, пропіонат, бутират, глутамат, серин, аланін, аргінін та інші амінокислоти тощо) [9]. Кінцевим продуктом окиснення органічних субстратів у одних видів сульфатвідновлювальних бактерій є ацетат (такий шлях окиснення характерний для представників родів *Desulfobulbus*, *Desulfomicrobium*, *Desulfomonas*, *Desulfovibrio*, *Thermodesulfobacterium*), у інших (*Desulfotomaculum*, *Desulfobacter*, *Desulfobacterium*, *Desulfococcus*, *Desulfomonile*, *Desulfonema*, *Desulfosarcina*, *Desulfurella*, *Desulfuromonas*) органічні субстрати окиснюються повністю до CO<sub>2</sub> і H<sub>2</sub>O [5].

Продуктом відновлення сульфатів є гідроген сульфід, який з одного боку, як відновник стимулює ріст анаеробів, а з другого – взаємодіє з йонами металів, утворюючи нерозчинні сульфіди [6, 8]. В цей спосіб знешкоджуються йони ртуті, срібла, міді, кадмію, хрому, кобальту та ін.

Недавно показано [7] здатність сульфатвідновлювальних бактерій *Desulfovibrio desulfuricans* Ya-11 за відсутності сульфатів у середовищі використовувати як акцептор електронів шестивалентний хром Cr (VI).

Широке використання сполук хрому у різних галузях промисловості (гальванічні і фарбувальні цехи, текстильні підприємства, шкірзаводи, підприємства хімічної промисловості тощо) призводить до нагромадження значної кількості цього металу в навколишньому середовищі. Останніми роками кількості хрому з викидами зростають, що дає підстави розглядати його як один з найбільших забруднювачів навколишнього середовища [7, 10]. Для очистки від хромату застосовують різні методи (механічні, фізичні та хімічні). Найбільш перспективним в останній час вважають біологічні, які виявилися більш ефективними, ніж фізичні та хімічні. Особливої уваги заслуговує використання резистентних до хрому штамів бактерій, які можна іммобілізувати на відповідних носіях. Однак високі концентрації Cr (VI) пригнічують ріст мікроорганізмів, що перешкоджає їхньому використанню для очищення навколишнього середовища, забрудненого йонами цього металу [10].

Метою цієї роботи було вивчити морфо-фізіологічні та біохімічні особливості сульфатвідновлювальних бактерій, стійких до підвищених концентрацій Cr (VI) та дослідити природу донорів та акцепторів електронів для них.



### Матеріали і методи

У роботі використовували чотири штами сульфатвідновлювальних бактерій *Desulfomicrobium* sp. (CrR1, CrR2, CrR3, CrR4), виділені з очисних споруд м. Львова [11].

Бактерії культивували у середовищах Постгейта В та Постгейта С [8] за температури 30 °С у пробірках об'ємом 25 мл, за анаеробних умов. Напіврідкі середовища містили 0,8% агару.

При дослідженні впливу шестивалентного хрому на бактерії їх культивували у модифікованому середовищі Постгейта С такого складу (г/л): калій дигідрофосфат — 0,5; амоній хлорид — 1,0; натрій хлорид — 3,7; кальцій хлорид гексагідрат — 0,06; магній хлорид гексагідрат — 0,055; натрій лактат — 6; дріжджовий екстракт — 1; ферум хлорид тетрагідрат — 0,004; натрій цитрат дигідрат — 0,3; рН середовища — 7,6.

Cr (VI) вносили після стерилізації у формі водного розчину  $K_2Cr_2O_7$  у концентрації 1 мМ.

У дослідах з вивчення здатності бактерій використовувати Cr (VI) як кінцевий акцептор електронів із середовища виключали сульфати.

Для вивчення здатності бактерій засвоювати різні джерела карбону до середовища Постгейта С, замість натрій лактату у еквімолярній кількості додавали фумарат, піруват, сукцинат, ацетат, етанол, бутанол, пропіонат, гліцерин, малат, фруктозу, глюкозу, цитрат. Для дослідження здатності сульфатвідновлювальних бактерій використовувати різні акцептори електронів, у середовище Постгейта С замість сульфатів вносили елементну сірку (10 г/л),  $K_2Cr_2O_7$  та Fe (III) цитрат у концентраціях 1 мМ, натрій нітрат та фумарат у концентраціях 12 мМ.

Біомасу визначали турбідиметрично на фотоелектроколориметрі КФК-3 ( $\lambda=340$  нм, кювета 3 мм).

Вміст ацетату у культуральній рідині визначали титруванням 0,1 н NaOH до появи рожевого забарвлення, як індикатор використовували розчин фенолфталеїну [1].

Для електронномікроскопічних досліджень використовували 48-годинну культуру. Клітини відмивали дистильованою водою і осаджували центрифугуванням при 8000 g впродовж 20 хв. Клітини фіксували протягом 20 хв в 1,5% водному розчині  $KMnO_4$  при кімнатній температурі. Постфіксацію проводили з використанням 1%  $OsO_4$  у какодилатному буфері протягом 90 хв при 0 °С. Фіксовані клітини промивали, обезводнювали в розчинах із зростаючими концентраціями етанолу і оксиду пропілену. Зразки переносили в епоксидну смолу Ероп 812. Ультратонкі зрізи отримували за допомогою ультрамікротома УМТП-6 і контрастували плумбум цитратом [15]. Перегляд і фотографування зразків проводили на електронному трансмісійному мікроскопі ПЕМ-100 за прискорювальної напруги 7 кВ.

Концентрацію Cr (VI) визначали спектрофотометрично ( $\lambda=540$  нм, кювета 10 мм) дифенілкарбазидним методом [13]. Для визначення Cr (III) використовували хромазуrol S ( $\lambda=590$  нм, кювета 10 мм) [12]. Вміст



сульфатів визначали турбідиметрично ( $\lambda = 520$  нм, кювета 10 мм) після їх осадження барій хлоридом. В ролі стабілізатора суспензії використовували гліцерин [2].

Статистичне опрацювання результатів проводили за Лакінім [4].

### Результати та їх обговорення

Сульфатвідновлювальні бактерії за умов росту на середовищі з сульфатом утворюють водень сульфід, який, взаємодіючи з йонами  $Fe^{2+}$ , що містяться у середовищі, утворює ферум (II) сульфід (FeS) чорного кольору, тим самим спричиняючи специфічне забарвлення колоній мікроорганізмів. Здійснюють неповне окиснення органічних сполук до ацетату, не утворюють спор, грамнегативні. Клітини бактерій мають овальну або паличкоподібну форму (рис. 1, А) довжиною 2,5 – 4,0 мкм і шириною 0,7 – 1,0 мкм.

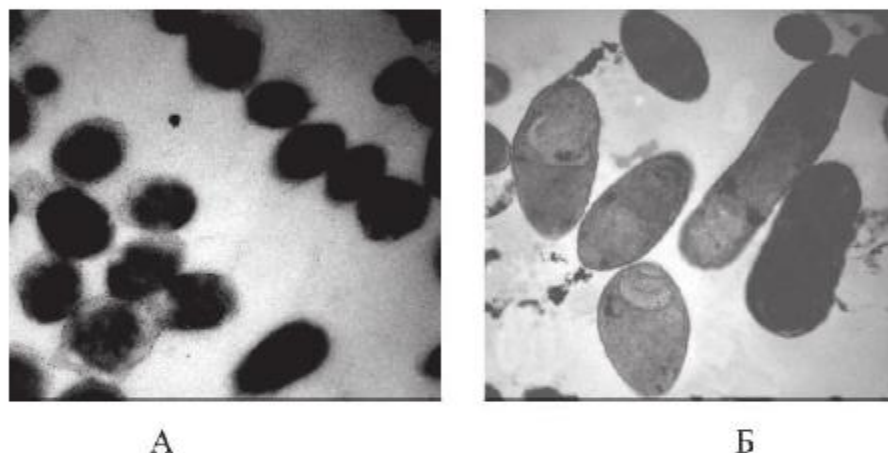


Рис. 1. Морфологія клітин штамів хромрезистентних сульфатвідновлювальних бактерій

А – без Cr (VI), Б – з Cr (VI). (x 10 тис. електронна мікроскопія)

Fig. 1. Morphology of cell cultures of chromium resistant sulfate-reducing bacteria  
A – without Cr (VI), B – with Cr (VI). (x 10 000 electron microscopy)

За умов росту сульфатвідновлювальних бактерій у середовищі з Cr(VI) клітини набувають видовженої форми (рис. 1, Б). Про подібні зміни в морфології клітин при рості бактерій у середовищі з Cr (VI) повідомляли Міхель та співавт. [14].

В клітинах наявні цитоплазматичні включення, які не забарвлюються суданом чорним, це свідчить про відсутність гранул полі- $\beta$ -оксимасляної кислоти.

Виділені бактерії – облігатні анаероби, мезофіли. Оптимальний ріст та утворення водень сульфід у спостерігається в діапазоні температур 27–35 °C та pH 7,0. Не виявляють додаткової потреби у вітамінах групи B.



Донором електронів для сульфатвідновлювальних бактерій у середовищі з сульфатом слугують різні органічні сполуки [9]. Найкращий ріст виділених штамів сульфатвідновлювальних бактерій спостерігається у середовищі з лактатом. Малат, глюкоза, фумарат, піруват, сукцинат, цитрат, етанол та фруктоза забезпечували значно менший приріст біомаси. Ацетат, пропіонат, гліцерин і бутанол досліджуваними бактеріями не використовуються (табл. 1).

Таблиця 1

Ріст штамів сульфатвідновлювальних бактерій у середовищі з різними джерелами вуглецю як донорами електронів

Table 1

Growth of sulfate-reducing bacteria strains in medium with different carbon sources as electron donors

Джерело вуглецю	Біомаса г/л			
	CrR1	CrR2	CrR3	CrR4
Контроль*	0,24±0,03	0,27±0,04	0,28±0,03	0,28±0,05
Ацетат	0,32±0,03	0,34±0,04	0,34±0,03	0,35±0,05
Пропіонат	0,37±0,07	0,37±0,08	0,39±0,08	0,40±0,11
Гліцерин	0,21±0,11	0,21±0,10	0,23±0,11	0,21±0,11
Етанол	0,91±0,02	1,1±0,01	0,80±0,02	0,93±0,02
Бутанол	0,39±0,02	0,41±0,01	0,38±0,00	0,36±0,03
Малат	2,01±0,08	2,09±0,11	2,17±0,07	2,34±0,22
Лактат	3,24±0,11	3,84±0,09	4,21±0,12	3,76±0,10
Піруват	2,06±0,03	2,08±0,07	2,17±0,15	2,24±0,09
Фруктоза	0,78±0,02	0,88±0,03	0,72±0,18	0,86±0,13
Фумарат	1,47±0,07	1,48±0,04	1,51±0,09	1,58±0,09
Сукцинат	2,58±0,23	2,38±0,11	2,56±0,09	2,73±0,17
Цитрат	2,26±0,58	2,31±0,46	2,44±0,39	2,40±0,42
Глюкоза	2,14±0,31	1,5±0,63	3,19±0,26	1,12±0,74

\* Контроль – середовище Постгейта С без донора електронів

Виділені штами сульфатвідновлювальних бактерій здатні використовувати широкий спектр речовин в ролі акцепторів електронів, нагромаджуючи значну біомасу протягом семи діб культивування (табл. 2).



Як кінцевий акцептор електронів бактерії ефективно використовують сульфати, відновлюючи їх до гідроген сульфіду, але за відсутності сульфату ростуть у середовищі, у якому єдиним акцептором електронів є Cr (VI), Fe (III), нітрат, фумарат або елементна сірка.

Таблиця 2

Ріст сульфатвідновлювальних бактерій за наявності в середовищі різних акцепторів електронів

Table 2

Growth of sulfate-reducing bacteria at presence in medium of different electron acceptors

Акцептор електронів	Біомаса г/л			
	CrR1	CrR2	CrR3	CrR4
Контроль*	0,22±0,09	0,23±0,05	0,24±0,07	0,22±0,06
Сульфат	3,24±0,11	3,84±0,09	4,21±0,12	3,76±0,10
Елементна сірка	1,56±0,02	1,45±0,18	1,54±0,03	1,63±0,04
Cr (VI)	3,28±0,19	3,15±0,15	3,77±0,27	3,6±0,03
Fe (III)	2,02±0,13	1,52±0,06	1,07±0,02	1,95±0,11
Нітрат	2,79±0,05	2,80±0,15	2,95±0,07	2,86±0,13
Фумарат	1,98±0,41	1,87±0,56	2,06±0,05	2,11±0,09

\* Контроль – середовище Постгейта С без акцептора електронів

Таким чином за морфологічними ознаками та фізіологічними властивостями, досліджувані сульфатвідновлювальні бактерії, згідно визначника Берджі, належать до роду *Desulfomicrobium* [5].

Встановлено, що найвищий рівень нагромадження біомаси за різних концентрацій Cr (VI) спостерігається за умов внесення 0,5–1 мМ Cr (VI) (рис. 2). Їх біомаса у середовищі була такою ж як у середовищі з сульфатом, що слугувало контролем. Збільшення концентрації Cr (VI) до 2–3 мМ спричиняло нагромадження приблизно у 3–6 разів меншої біомаси штамів сульфатвідновлювальних бактерій порівняно з контролем. За наявності у середовищі 5 та 10 мМ Cr (VI) бактерії не ростуть.

Таким чином, виділені бактерії можна вважати резистентними до шестивалентного хрому. Їх резистентність обумовлена, з одного боку, здатністю використовувати Cr (VI) як акцептор електронів, а з другого – бактерії за наявності сульфатів продукують гідроген сульфід, який хімічно відновлює Cr (VI) [7].

Оскільки, найкращий ріст досліджуваних бактерій у середовищі з різними акцепторами електронів спостерігався у штаму CrR3, то він був



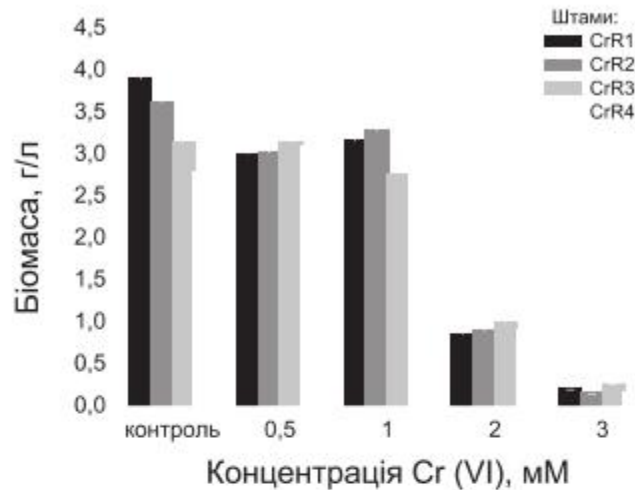


Рис. 2. Нагромадження біомаси виділеними штамми сульфатвідновлювальних бактерій *Desulfomicrobium* sp. за різних концентрацій Cr (VI) у середовищі Постгейта С без сульфатів. Контроль – середовище без Cr (VI) з сульфатом

Fig. 2. Accumulation of biomass by isolated strains of sulfate-reducing bacteria *Desulfomicrobium* sp. under different concentrations of Cr (VI) in medium Postgate C without sulfate. Control is the medium without Cr (VI) with sulfate

обраний для подальших досліджень. Динаміка використання Cr (VI) як кінцевого акцептора електронів штамом CrR3 за концентрації 1 мМ у середовищі показана на рис. 3.

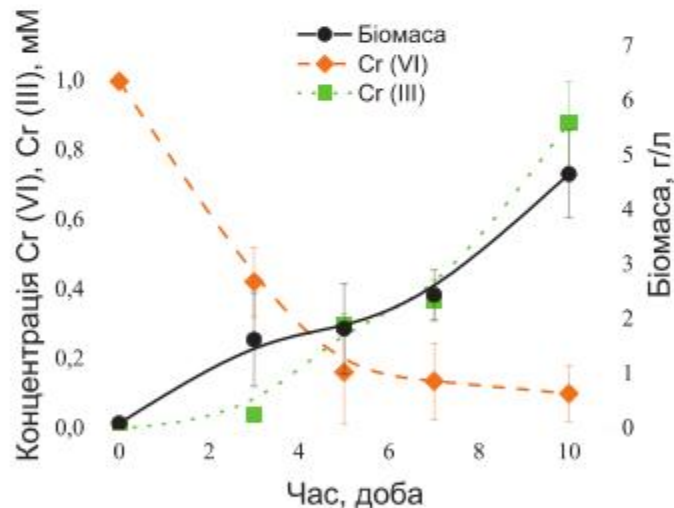


Рис. 3. Ріст і використання Cr (VI), нагромадження Cr (III), штамом CrR3 *Desulfomicrobium* sp. у середовищі Постгейта С без сульфатів

Fig. 3. Growth and consumption of Cr (VI), accumulation of Cr (III) by CrR3 strain *Desulfomicrobium* sp. in medium of Postgate C without sulfate



Як видно з рис. 3, протягом перших двох діб культивування відбувається інтенсивне збільшення біомаси бактерій та зниження концентрації Cr (VI).

Починаючи з третьої доби, бактерії дещо сповільнювали ріст. Це може бути зумовлено утворенням токсичного інтермедіату, яким є п'ятивалентний хром Cr (V), що є сильним інгібітором росту бактерій. Подібні результати отримані Кшемінською та співавт. [3] при дослідженні впливу Cr (VI) на дріжджі *Pichia guilliermondii*. Починаючи з другої доби культивування, в середовищі відбувається нагромадження Cr (III). На п'яту добу культивування спостерігається відновлення росту культури та зростання вмісту Cr (III) у середовищі. Така тенденція простежується до десятої доби культивування, коли із середовища практично повністю використовується Cr (VI) і нагромаджується Cr (III).

Отримані результати дають підставу вважати, що виділені культури сульфатвідновлювальних бактерій здатні використовувати високотоксичний Cr (VI) як кінцевий акцептор електронів, відновлюючи його до Cr (III).

За умов росту сульфатвідновлювальних бактерій у середовищі з Cr (VI), як єдиним акцептором електронів, їхня біомаса досягала такого ж рівня як і в середовищі з сульфатом, що свідчить про високий вихід енергії в процесі анаеробного окиснення органічних сполук і високоефективне використання Cr (VI) як акцептора електронів.

Отже, виділені нами сульфатвідновлювані бактерії виявилися активними хроматвідновлювачами. Як і в більшості хроматрезистентних мікроорганізмів їхня максимальна хроматредуктазна активність спостерігається за температури 30 °C. Вони використовують різні органічні речовини (вуглеводи, спирти, жирні кислоти тощо), як донори електронів для відновлення Cr (VI). Крім того вони здатні в анаеробних умовах використовувати як акцептори електронів сульфати та нітрати, наявність яких в середовищі може негативно впливати на хроматредукцію, тому питання взаємодії бактерій та інших компонентів середовища потребує більш глибокого вивчення.

Виділені бактерії, на нашу думку, можуть бути використані для очищення водного середовища від сульфатів, нітратів та солей важких металів і в першу чергу шестивалентного хрому.

**K.V. Sholiak, T.B. Peretiak, S.P. Gudz**

Ivan Franko National University of Lviv,  
4, Grushevsky str., Lviv, 79005, Ukraine,  
тел: +38(032) 239 40 53, e-mail: Sholjak@gmail.com

## **SULFATE-REDUCING BACTERIA RESISTANT TO INCREASED LEVELS OF HEXAVALENT CHROMIUM**

### **Summary**

The **aim** of this work was to study the morpho-physiological and biochemical properties of chromium-resistant sulfate-reducing bacteria and to





investigate the nature of electron donors and their acceptors. **Methods.** Bacteria were cultivated in Postgate B and Postgate C media at temperature 30 °C in 25 ml tubes under the anaerobic conditions. Biomass was determined turbidimetrically using the photoelectrocolorimeter СРК-3. The concentration of Cr (VI) was determined spectrophotometrically by the diphenylcarbazide method. Chromazurol S was used for Cr (III) determination. The sulphates content was determined turbidimetrically after their precipitation by barium chloride. **Results.** Bacterial cells are oval or rod-shaped. Derived sulfate-reducing bacteria hold incomplete oxidation of organic compounds with acetate formation and do not form spores, gram-negative, mesophilous obligate anaerobes. The optimum temperature for growth is 27–35 °C, pH=7. As a final electron acceptor sulfate-reducing bacteria use sulfate. Bacteria use elemental sulfur, fumarate, Cr (VI), Fe (III), nitrate as a terminal electron acceptor under absence of sulfate in the environment. In presence of sulfate in culture medium all cultures as a source of carbon, used lactate, fumarate, pyruvate, succinate, malate, fructose, glucose, citrate. Acetate, ethanol, butanol, propionate, glycerol did not provide their growth. The effect of different concentrations of chromate on the growth of sulfate-reducing bacteria have been investigated. There were shown the patterns of use of chromate by bacteria, and reduction highly toxic Cr (VI) to less toxic Cr (III). **Conclusions.** Isolated bacteria, were identified as *Desulfomicrobium* sp. These sulfate-reducing bacteria, in our opinion, can be used for treatment of water environment from sulfates, nitrates and salts of heavy metals and especially hexavalent chromium.

Key words: chromium-resistant sulfate-reducing bacteria, Cr (VI), sulfate.

Е.В. Шоляк, Т.Б. Перетятко, С.П. Гудзь

Львовский национальный университет имени Ивана Франка,  
ул. Грушевского, 4, Львов, 79005, Украина,  
тел: +38(032) 239 40 53, e-mail: Sholjak@gmail.com

### СУЛЬФАТВОССТАНАВЛИВАЮЩИЕ БАКТЕРИИ, СТОЙКИЕ К ПОВЫШЕННЫМ КОНЦЕНТРАЦИЯМ ШЕСТИВАЛЕНТНОГО ХРОМА

#### Реферат

**Целью** работы было изучить морфо-физиологические и биохимические особенности сульфатредуцирующих бактерий, устойчивых к повышенным концентрациям Cr (VI) и исследовать для них природу доноров и акцепторов электронов. **Методы.** Бактерии культивировали в средах Постгейта В и Постгейта С при температуре 30 °C в пробирках объемом 25 мл,



в анаэробных условиях. Биомассу определяли турбидиметрически на фотоэлектроколориметре КФК-3. Концентрацию Cr (VI) определяли спектрофотометрически дифенилкарбазидным методом. Для определения Cr (III) использовали хромазурол S. Содержание сульфатов определяли турбидиметрически после их осаждения барий хлоридом. **Результаты.** Клетки бактерий имеют овальную или палочковидную форму. Выделенные сульфатредуцирующие бактерии осуществляют неполное окисление органических соединений до ацетата, не образуют спор, грамтрицательные, облигатные анаэробы, мезофилы. Оптимальной температурой для роста является 27–35 °С, рН = 7. Как конечный акцептор электронов сульфатредуцирующие бактерии используют сульфат. При отсутствии сульфата в среде, бактерии используют элементную серу, фумарат, Cr(VI), Fe (III), нитрат как конечные акцепторы электронов. При наличии сульфатов в среде культивирования все культуры, как источник углерода, используют лактат, фумарат, пируват, сукцинат, малат, фруктозу, глюкозу, цитрат. Ацетат, этанол, бутанол, пропионат, глицерин не обеспечивали их рост. Исследовано влияние различных концентраций хромата на рост сульфатредуцирующих бактерий. Показано закономерности использования хромата бактериями и восстановление высокотоксичного Cr (VI) до менее токсичного Cr (III). **Вывод.** Выделенные бактерии были идентифицированы как *Desulfomicrobium* sp. Эти сульфатредуцирующие бактерии, по нашему мнению, могут быть использованы для очистки водной среды от сульфатов, нитратов и солей тяжелых металлов, в том числе и от соединений шестивалентного хрома.

Ключевые слова: хромрезистентные сульфатредуцирующие бактерии, Cr (VI), сульфат.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Бабко А.К., Пятницький І.В. Кількісний аналіз. — К.: Вища школа, 1974. — С. 243.
2. ГОСТ 26426-85. Почвы. Метод определения ионов сульфата в водной вытяжке. — М.: Изд-во стандартов, 1985. — 7 с.
3. Кшеминская Г.П., Гайда Г.З., Иваш М.Ф., Гончар М.В. Хромат-резистентные мутанты дрожжей *Pichia guilliermondii*: получение и свойства // Микробиология. — 2011. — Т. 80, № 3. — С. 308–319.
4. Лакин Г. Ф. Биометрия. — М.: Высшая школа, 1990. — 352 с.
5. *Определитель* бактерий Берджи. В 2-х т. Т.1: Пер. с англ. / Под ред. Дж. Хоулта, Н. Крига, П. Снита, Дж. Стейли, С. Уилльямса. — М.: Мир, 1997. — 432 с.
6. Перетятко Т.Б., Галушка А.А., Гудзь С.П. Використання металів як кінцевих акцепторів електронів сульфатвідновлювальними бактеріями // Біологічні студії. — 2009. — Т. 3, № 3. — С. 131–148.



7. *Перетятко Т.Б., Гудзь С.П.* Відновлення сполук шестивалентного хрому сульфатвідновлювальними бактеріями // Біологічні студії. — 2010. — Т. 4, № 2. — С. 39–48.

8. *Розанова Е.П.* Методы культивирования и идентификации анаэробных бактерий, восстанавливающих серу и ее окисленные соединения // Теоретические и методические основы изучения анаэробных микроорганизмов. — 1978. — С. 123–136.

9. *Розанова Е.П., Назина Т.Н.* Сульфатвосстанавливающие бактерии (систематика и метаболизм) // Успехи микробиологии. — 1989. — Т. 23. — С. 191–226.

10. *Франк Ю.А., Лушников С.В.* Биотехнологический потенциал сульфатредуцирующих бактерий // Экология и промышленность. — 2006. — № 1. — С. 10–13.

11. *Шоляк К.В., Перетятко Т.Б., Гудзь С.П.* Хромрезистентні сульфатвідновлювальні бактерії, виділені із стічних вод промислових підприємств // II міжнародна наук. конф. «Фундаментальні та прикладні дослідження в біології» (19-22 вересня 2011 р.). — Донецьк: Вид-во «Ноулідж», 2011. — С. 269.

12. *Honchar T.M., Ksheminska H.P., Patsay I.O., Huta O.M., Gonchar M.V.* Assay of chromium (III) in microbial cultures using chromazurol S and surfactants for monitoring chromate remediation processes // Біотехнологія. — 2008. — Т. 1, № 4. — С. 85–94.

13. *Marchart H.* Über die Reaktion von Chrom mit Diphenylcarbazid und Diphenylcarbazon // Anal. Chim. Acta. — 1964. — Vol. 196, № 30. — P. 11–17.

14. *Michel C., Brugna M., Aubert C., Bernadac A., Bruschi M.* Enzymatic reduction of chromate: comparative studies using sulfate-reducing bacteria // Appl Microbiol Biotechnol. — 2001. — Vol. 55. — P. 95–100.

15. *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.

Стаття надійшла до редакції 01.04.2013

