

УДК 579.695+579.222.2

Закономірності використання сульфат- і нітрат-іонів бактеріями *Desulfomicrobium sp. CrR3* та *Desulfovibrio desulfuricans Ya-11*

Л.С. Дорош, Т.Б. Перетятко, С.П. Гудзь

Львівський національний університет імені Івана Франка, Львів, Україна

Охарактеризовано закономірності відновлення сульфатів та нітратів сульфатвідновлювальними бактеріями *Desulfomicrobium sp. CrR3* та *Desulfovibrio desulfuricans Ya-11*. У результаті відновлення сульфат-іонів у концентрації 10 мМ бактеріями *Desulfomicrobium sp. CrR3* та *D. desulfuricans Ya-11* у середовищі накопичується 5,0–6,8 мМ гідроген сульфід. За росту бактерій у середовищі з нітрат-іонами накопичувалися іони нітриту як проміжні та амонію як кінцеві продукти дисиміляційної нітра-редукції. Максимальну біомасу бактерії *Desulfomicrobium sp. CrR3* (3,8 г/л) та *D. desulfuricans Ya-11* (3,2 г/л) накопичували за наявності нітрат-іонів, порівняно із сульфат-іонами. *Desulfomicrobium sp. CrR3* ефективніше використовували нітрат-іони як акцептори електронів, ніж *D. desulfuricans Ya-11*, про що свідчить інтенсивність нітра-редукції та максимальна біомаса бактерій. За умов інкубування бактерії *Desulfomicrobium sp. CrR3* та *D. desulfuricans Ya-11* відновлювали і сульфати, і нітрати. Ефективність використання сульфат- і нітрат-іонів як акцепторів електронів бактеріями *Desulfomicrobium sp. CrR3* за концентрації 10 мМ становила 62% та 93%, відповідно. Бактерії *D. desulfuricans Ya-11* відновили лише 86% сульфатів та 73% нітратів.

Ключові слова: сульфатвідновлювальні бактерії; сульфатредукція; нітра-редукція

The patterns of utilization of sulfate and nitrate ions by bacteria *Desulfomicrobium sp. CrR3* and *Desulfovibrio desulfuricans Ya-11*

L.S. Dorosh, T.B. Peretyatko, S.P. Gudz

Ivan Franko National University of Lviv, Lviv, Ukraine

The aim of this work was to study the patterns of utilization of sulfate and nitrate ions by bacteria *Desulfomicrobium sp. CrR3* and *Desulfovibrio desulfuricans Ya-11* under different cultivation conditions. Chromium-resistant sulfate-reducing bacteria *Desulfomicrobium sp. CrR3* and *D. desulfuricans Ya-11* were used. Bacteria were grown in Posgate C medium at 30°C in 25 ml test tubes under anaerobic conditions. To test the ability of bacteria *Desulfomicrobium sp. CrR3* and *D. desulfuricans Ya-11* to use various substances and ions as electron acceptors, they were incubated in potassium phosphate buffer (10 mM, pH 7) with sulfate, nitrate and nitrite ions in concentrations of 1, 5 and 10 mM. At various concentrations of sulfate ions (1, 5 and 10 mM), biomass of bacteria *Desulfomicrobium sp. CrR3* and *D. desulfuricans Ya-11* increased with the increase of concentration of electron acceptor, the maximum biomass was equal to 3.65 and 3.05 g/l at 10 mM of sulfate ions, respectively. With the increase of concentration of nitrate ions to 5 mM the biomass increased by 70% compared to the biomass of bacteria grown in the medium with nitrate ions at the concentration 1 mM. The maximal biomass was determined in the presence of nitrate ions at a concentration of 10 mM – 3.78 and 3.15 g/l for bacteria *Desulfomicrobium sp. CrR3* and *D. desulfuricans Ya-11*, respectively. It is found, as a result of incubation of bacteria *Desulfomicrobium sp. CrR3* and *D. desulfuricans Ya-11*, that by introducing sulfate ions at a concentration of 5 mM bacteria *Desulfomicrobium sp. CrR3* used 98%, while *D. desulfuricans Ya-11* used only 86%, and under these conditions hydrogen sulfide has been detected in the incubation mixture at the concentration of 0.8–1.0 mM. In the presence of 10 mM of sulfate ions efficiency of electron acceptors utilization was equal to 85–95% for both strains. Bacteria *Desulfomicrobium sp. CrR3* intensively used nitrate ions, the efficiency of electron acceptor utilization at 10 mM was equal to 92.8%, while for *D. desulfuricans Ya-11* the usage percent amounted to 73% only, and nitrite ions were not observed after three days of incubation. It is established that bacteria *Desulfomicrobium sp. CrR3* and *D. desulfuricans Ya-11* are capable to use sulfate and nitrate ions as electron acceptors in the process of the dissimilatory sulfate and nitrate reduction. As a result of the study of patterns of nitrate utilization by

Desulfomicrobium sp. CrR3 and *D. desulfuricans* Ya-11 it is found that bacteria use nitrate as a nitrogen source for biosynthetic processes, and as electron acceptors. Under these conditions nitrates are reduced to nitrites, and then they are turned to ammonium.

Keywords: sulfate-reducing bacteria; sulfate reduction; nitrate reduction

Вступ

Забруднення водного та ґрунтового середовища оксоаніонами сульфуру та нітрогену змушує шукати способи очищення довкілля від цих поллютантів. Нітрати, нітрити та сульфати належать до небезпечних забруднювачів, оскільки висока їх концентрація у ґрунтах та водоймах спричинює зниження вмісту кисню у ґрунті, посилення проявів парникового ефекту та утворення гідроген сульфід (Dzhigireji, 2004). Для очищення стічних вод застосовують переважно методи біологічного очищення, що пояснюється не тільки особливостями складу стічних вод, а й економічною доцільністю застосування біотехнології. Через високі експлуатаційні витрати та проблемність утилізації відходів, що утворюються у процесі очищення, фізико-хімічні методи недоцільні. Їх застосовують переважно для попереднього очищення та у складних кліматичних умовах (Dzhigireji, 2004).

Анаеробне очищення стічних вод від поллютантів різної природи за участю мікроорганізмів використовується уже понад 100 років. Переваги анаеробних процесів – це мала потреба у поживних речовинах завдяки нагромадженню анаеробами невеликої біомаси; зниження витрат електроенергії та, на відміну від аеробних систем, анаеробні не дуже вибагливі до обмеження акцептора електронів, тому завантаження систем може бути вищим, ніж для аеробних систем. Сульфатвідновлювальні бактерії розглядаються як одна з найперспективніших груп мікроорганізмів у процесах анаеробного очищення вод від сполук сульфуру та нітрогену (Okabe et al., 2003; Peretyatko et al., 2009).

Сульфатвідновлювальні бактерії здатні використовувати різні оксоаніони (сульфати, нітрати, нітрити) як акцептори електронів у процесі окиснення H_2 та органічних сполук (Kosinska and Miskiewicz, 1999; Polanco et al., 2001; Plugge et al., 2011). Здатність сульфатвідновлювальних бактерій використовувати нітрат як акцептор електронів описана у деяких штамів, які належать до родів *Desulfovibrio* (Marietou et al., 2005), *Desulfobacterium* (Szewzyk and Pfennig, 1987), *Desulfolobus* (Mohanakrishnan et al., 2011). Умови культивування бактерій можуть впливати на здатність клітин до нітратредукції (Bratcova et al., 2002). Роль процесу нітратредукції у життєдіяльності сульфатвідновлювальних бактерій вивчено недостатньо. У літературі описано різні шляхи регуляції нітратредукції у сульфатвідновлювальних бактерій (Tarasova et al., 2009).

Мета даної статті – з'ясувати закономірності використання сульфат- і нітрат-іонів бактеріями *Desulfomicrobium sp. CrR3* та *D. desulfuricans* Ya-11 за різних умов культивування.

Матеріал і методи досліджень

У роботі використовували сульфатвідновлювальні бактерії *Desulfomicrobium sp. CrR3* (Sholyak et al., 2013) та *D. desulfuricans* Ya-11 (Peretyatko et al., 2006). Бактерії культивували у середовищі Постгейта С за температури

30 °C у пробірках, об'ємом 25 мл, за анаеробних умов. Анаеробні умови забезпечували кип'ятінням і швидким охолодженням середовища культивування, що зумовлює зменшення в ньому розчинного кисню, а також додаванням аскорбінової кислоти чи Na_2S . Пробірки повністю заповнювали середовищем і закривали гумовими корками (Postgate, 1984).

Для дослідження здатності використовувати сульфати та нітрати бактерії культивували упродовж 6 діб у модифікованому середовищі Постгейта С такого складу (г/л): калій дигідрофосфат – 0,5, 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. Нітрат і сульфат вносили після стерилізації у формі водних розчинів, KNO_3 , $NaNO_2$ та $Na_2SO_4 \cdot 10H_2O$, відповідно. Початкова концентрація клітин становила 0,2 г/л.

Для перевірки здатності бактерій *Desulfomicrobium sp. CrR3* та *Desulfovibrio desulfuricans* Ya-11 використовувати різні іони як акцептори електронів їх інкубували у калій фосфатному буфері (10 мМ, рН 7) із сульфатами, нітратами та нітритами у концентраціях 1, 5 та 10 мМ.

Біомасу визначали фотометрично на фотоелектроколориметрі КФК-3 (340 нм, кювета з оптичним шляхом 3 мм). Вміст сульфатів визначали турбідиметрично після їх осадження барій хлоридом. Для стабілізації суспензії використовували гліцерин (520 нм, кювета з оптичним шляхом 10 мм) (Pochvy. Metod opredelenie ionov sulfata v vodnoj vytiyazhke). Кількість гідроген сульфід визначали у культуральній рідині фотометрично з використанням п-амінодиметиланіліндигідрохлориду (665 нм, кювета з оптичним шляхом 30 мм) (Sugiyama, 2002). Вміст нітратів та нітритів визначали спектрофотометрично з використанням п-нафтилетилендіаміндихлориду (540 нм, кювета з оптичним шляхом 10 мм) (Granger et al., 1996). Концентрацію амонію визначали спектрофотометрично з використанням фенольного реактиву, натрій нітропрусиду та гіпохлориту натрію (640 нм, кювета з оптичним шляхом 10 мм) (Ivančić and Degobbi, 1984).

Досліди проводили в триразовій повторності. Результати наведені як середнє значення та стандартна похибка (Bailey, 1995; Isakova, 2009).

Результати та їх обговорення

У результаті дослідження здатності бактерій *Desulfomicrobium sp. CrR3* та *D. desulfuricans* Ya-11 відновлювати сульфати та нітрати встановлено, що кінцевими продуктами відновлення цих оксоаніонів є гідроген сульфід та амоній, відповідно. У таблиці 1 наведено результати досліджень, які свідчать про здатність бактерій *D. desulfuricans* Ya-11 та *Desulfomicrobium sp. CrR3* рости у середовищі з різними акцепторами електронів. Із цією метою бактерії *D. desulfuricans* Ya-11 та *Desulfomicrobium sp. CrR3* вирощували у середовищі Постгейта С, у якому сульфат-іони були замінені на нітрат-, нітрит-, хромат-іони та елементну сірку як потенційні акцептори електронів.

Таблиця 1

**Ріст бактерій у середовищі
з різними акцепторами електронів (n = 3)**

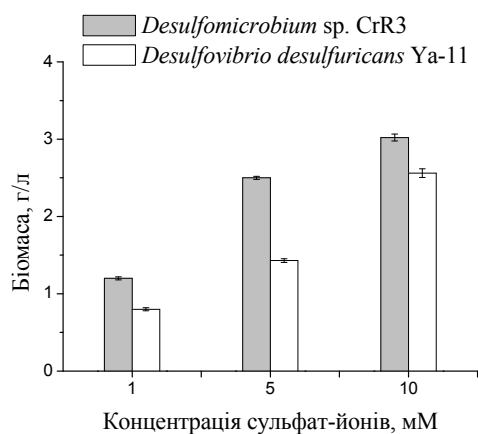
Акцептор електронів	Біомаса, г/л	
	<i>Desulfomicrobium sp. CrR3</i>	<i>D. desulfuricans sp. Ya-11</i>
SO ₄ ²⁻	3,14 ± 0,12	3,05 ± 0,03
S ⁰	1,37 ± 0,03	ріст відсутній
CrO ₄ ²⁻	3,60 ± 0,27	2,65 ± 0,23
NO ₃ ⁻	3,40 ± 0,07	3,15 ± 0,21
NO ₂ ⁻	1,08 ± 0,05	1,05 ± 0,03

За концентрації сульфатів 1 мМ біомаса клітин *Desulfomicrobium sp. CrR3* та *D. desulfuricans Ya-11* становила 1,2 та 0,8 г/л, відповідно, тоді як за концентрації 5 мМ сульфатів – 2,7 та 1,5 г/л (рис. 1а). Ефективність використання сульфатів бактеріями *Desulfomicrobium sp. CrR3* та *D. desulfuricans Ya-11* за вихідної концентрації 1 мМ становить 96% та 90% (рис. 1б). За умов підвищення концентрації сульфату до 10 мМ біомаса бактерій *Desulfomicrobium sp. CrR3* та *D. desulfuricans*

Ya-11 зростала до 3,2 та 3,0 г/л, відповідно (рис. 1а). Максимальний приріст біомаси спостерігали на третю – четверту добу культивування. Ефективність використання сульфатів бактеріями *Desulfomicrobium sp. CrR3* та *D. desulfuricans Ya-11* за вихідної концентрації 10 мМ становила 98–100% (рис. 1б).

Як уже зазначалось, деякі види сульфатвідновлювальних бактерій можуть використовувати іони нітрату як акцептори електронів (Marietou and Griffiths, 2008). За наявності у середовищі 1 мМ NO₃⁻ бактерії *Desulfomicrobium sp. CrR3* та *D. desulfuricans Ya-11* нагромаджували біомасу 1,3 та 1,0 г/л, відповідно. Збільшення концентрацій нітрат-іонів до 5 мМ зумовлює зростання біомаси для обох видів мікроорганізмів приблизно на 70% порівняно з біомасою бактерій, культивованих у середовищі з іонами нітратів у концентрації 1 мМ (рис. 2а).

Ефективність використання нітрат-іонів як акцепторів електронів для обох мікроорганізмів була практично однаковою та становила майже 100%. У середовищі нагромаджувались іони амонію (рис. 2б).



а

б

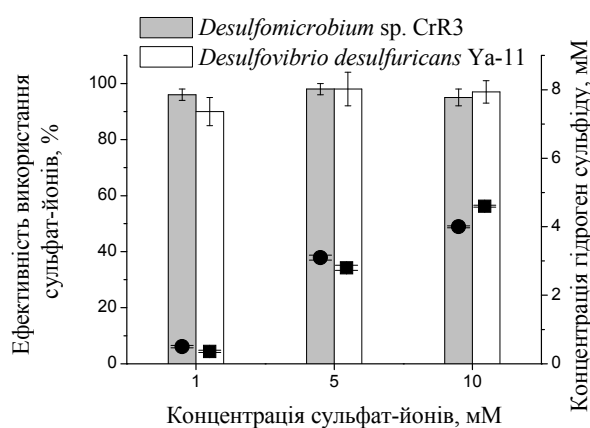
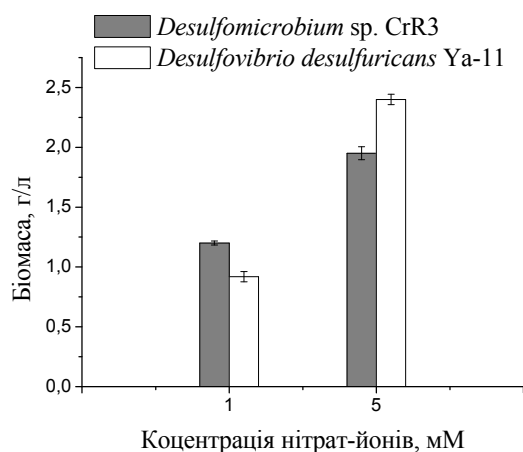


Рис. 1. Ріст (а), ефективність використання сульфат-іонів та утворення гідроген сульфід (б) бактеріями *Desulfomicrobium sp. CrR3* (-●-) та *D. desulfuricans Ya-11* (-■-) за різної вихідної концентрації SO₄²⁻



а

б

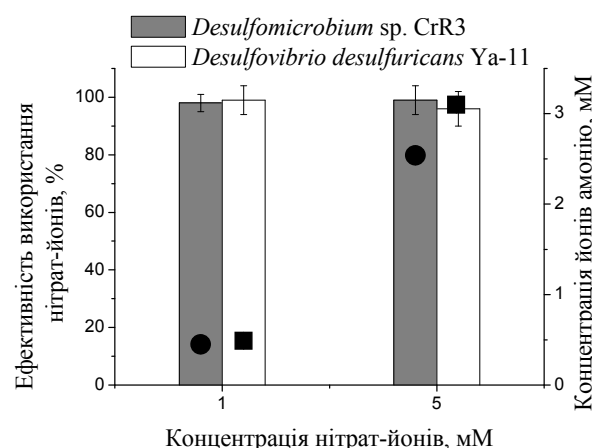


Рис. 2. Ріст (а), ефективність використання нітрат-іона та утворення амонію (б) бактеріями *Desulfomicrobium sp. CrR3* (-●-) та *D. desulfuricans Ya-11* (-■-)

У результаті дослідження закономірностей використання нітратів *Desulfomicrobium sp. CrR3* та *D. desul-*

furicans Ya-11 встановили, що бактерії використовують нітрати як джерело нітрогену для біосинтетичних

процесів і як акцептори електронів. Протягом перших двох – чотирьох діб культивування бактерії повністю використовують нітрати за їх вихідної концентрації 1, 5 та 10 мМ (рис. 2, 3). За цих умов у середовищі нагромаджуються нітрит-іони (1,5–2,0 мМ), концентрація яких після однієї – двох діб культивування знижується, у середовищі зростає вміст іонів амонію (рис. 3а, б). Із використанням нітрат-іонів бактеріями після 7 діб культивування

спостерігається уповільнення росту культури. Утворений нітрит, очевидно, не використовується бактеріями як акцептор електронів, про що свідчить крива росту бактерій. Максимальну біомасу бактерій *Desulfomicrobium sp.* CrR3, вирощених у середовищі з нітратами, спостерігали на першу – другу добу культивування (3,0–3,5 г/л), тоді як у середовищі із сульфатами – на третю – четверту добу культивування (2,5–3,0 г/л) (рис. 3а, б).

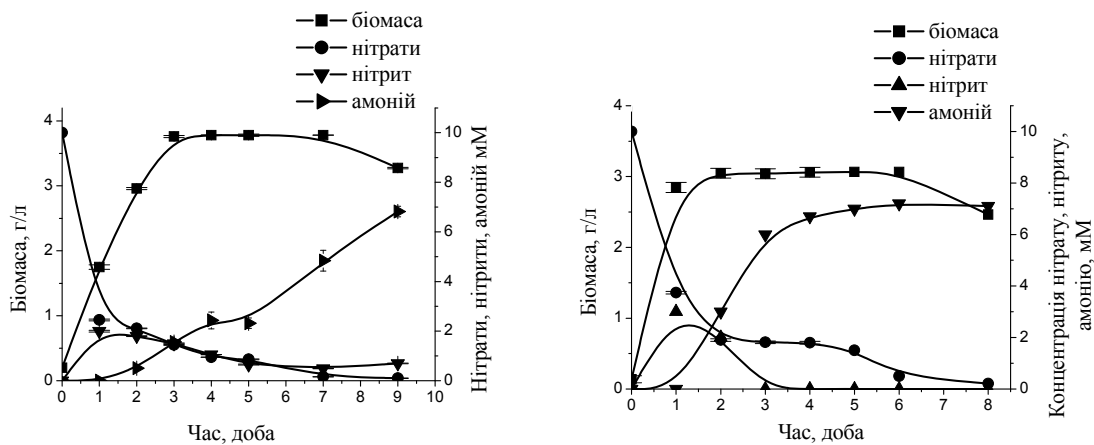


Рис. 3. Використання нітратів бактеріями *Desulfomicrobium sp.* CrR3 (а) та *D. desulfuricans* Ya-11 (б)

У результаті інкубування бактерій *Desulfomicrobium sp.* CrR3 та *D. desulfuricans* Ya-11 встановлено, що вони відновлюють сульфати та нітрати. Сульфат-іони у концентрації 1 мМ практично повністю були використані бактеріями *Desulfomicrobium sp.* CrR3 та *D. desulfuricans* Ya-11 після трьох діб інкубування. За внесення сульфат-іонів у концентрації 5 мМ бактерії *Desulfomicrobium sp.* CrR3 використали 98%, тоді як *D. desulfuricans* Ya-11 лише 86%, за цих умов у середовищі нагромаджувався гідроген сульфід у

концентрації 0,8–1,0 мМ. За наявності 10 мМ сульфат-іонів ефективність використання акцепторів електронів становила 85–95%.

Бактерії *Desulfomicrobium sp.* CrR3 інтенсивно використовували нітрат-іони, ефективність використання акцепторів електронів за концентрації 10 мМ становила 93%, тоді як для *D. desulfuricans* Ya-11 – лише 73%. За цих умов нітрит-іони після трьох діб інкубування не виявлені, як кінцеві акцептори електронів вони не використовувались (табл. 2).

Таблиця 2

Ефективність використання різних акцепторів електронів сульфатвідновлювальними бактеріями *Desulfomicrobium sp.* CrR3 та *D. desulfuricans* Ya-11 після трьох діб інкубування

Концентрація акцепторів електронів, мМ	Сульфати як акцептори електронів			Нітрати як акцептори електронів				Нітрити як акцептори електронів			
	SO ₄ ²⁻ , мМ	H ₂ S, мМ	E, %	NO ₃ ⁻ , мМ	NO ₂ ⁻ , мМ	NH ₄ ⁺ , мМ	E, %	NO ₂ ⁻ , мМ	NH ₄ ⁺ , мМ	E, %	
<i>Desulfomicrobium sp.</i> CrR3	1	0,6 ± 0,05	0,6 ± 0,02	94,7	0,02 ± 0,02	0	0,8 ± 0,05	93,3	1,1 ± 0,04	0	0
	5	0,1 ± 0,02	0,8 ± 0,03	98,2	0,4 ± 0,08	0	2,2 ± 0,32	93,3	5,1 ± 0,07	0	0
	10	3,9 ± 0,05	2,2 ± 0,05	62,5	0,7 ± 0,08	0	5,3 ± 0,08	92,8	9,9 ± 0,09	0	0
<i>D. desulfuricans</i> Ya-11	1	0,5 ± 0,01	0,2 ± 0,04	95,8	0,1 ± 0,02	0	0,5 ± 0,06	87,2	1,1 ± 0,07	0	0
	5	1,2 ± 0,21	0,1 ± 0,02	86,5	1,1 ± 0,04	0	3,5 ± 0,02	81,1	4,9 ± 0,04	0	0
	10	1,5 ± 0,02	1,1 ± 0,21	85,3	2,7 ± 0,32	0	4,5 ± 0,12	73,9	9,5 ± 0,28	0	0

Примітка: E – ефективність використання акцепторів електронів.

Зниження концентрації сульфатів та нітратів, утворення гідроген сульфиду та амонію, відповідно, в інкубаційній суміші свідчить, що анаеробні сульфатвідновлювальні бактерії *Desulfomicrobium sp.* CrR3 та *D. desulfuricans* Ya-11 здатні використовувати сульфати та нітрати як акцептори електронів у процесі безкисневого окиснення органічних сполук.

Висновки

Бактерії *D. desulfuricans* Ya-11 та *Desulfomicrobium sp.* CrR3 здатні відновлювати як сульфати, так і нітрати. Проте відновлення нітратів інтенсивніше, ніж сульфатів. У результаті сульфат- і нітратредукції утворюється гідроген сульфід та амоній, відповідно, як кінцеві сполуки.

Із підвищенням концентрації нітрат та сульфат-іонів із 1 до 10 мМ біомаса бактерій зростала.

Бактерії *Desulfomicrobium sp.* CrR3 ефективніше використовують нітрат-іони, ніж *D. desulfuricans* Ya-11. Проте сульфатредукція інтенсивніша у бактерій *D. desulfuricans* Ya-11, про що свідчить ефективність використання акцепторів електронів за різних концентрацій.

Відсутність у середовищі культивування амонію (як класичного джерела нітрогену для сульфатвідновлювальних бактерій) і їх ріст у середовищі з нітратом свідчить про те, що NO_3^- повністю забезпечує потреби мікроорганізмів у нітрогені.

Здатність сульфатвідновлювальних бактерій відновлювати сульфати та нітрати робить їх перспективними об'єктами у біоремедіації ґрунтів і вод, забруднених промисловими відходами.

Бібліографічні посилання

- Bailey, N.T.J., 1995. Statistical methods in biology. 3rd edition. Cambridge Univ. Press, Cambridge.
- Bratcova, S., Groudev, S., Georgiev, P., 2002. The effect of some essential environmental factors on the microbial dissimilatory sulphate reduction. Mining and Mineral Processing 44(2), 123–127.
- Dzhigireji, V.S., 2004. Ekologija ta ohorona navkolyshn'ogo seredovyshha [Ecology and environment]. Znannya, Kyiv (in Russian).
- Granger, D.L., Taintor, R.R., Boockvar, K.S., 1996. Measurement of nitrate and nitrite in biological samples using nitrate reductase and Griess reaction. Method. Enzymol. 268, 142–151.
- Isakova, O.P., Tarasevych, Y., Yuzjuk, Y., 2009. Processing and visualization of data with the physical experiments by usage Origin package. Libkom, Moscow.
- Ivančić, I., Degobbi, D., 1984. An optimal manual procedure for ammonia analysis in natural waters by the indophenol blue method. Wat. Res. 18, 1143–1147.
- Kosinska, K., Miskiewicz, T., 1999. Upgrading the efficiency of dissimilatory sulphate reduction by *Desulfovibrio desulfuricans* via adjustment of the C₀D/S₀4 ratio. Biotechnol. Lett. 21, 299–302.
- Marietou, A., Richardson, D.J., Cole, J.S., 2005. Nitrate reduction by *Desulfovibrio desulfuricans*: A periplasmic nitrate reductase system that lacks NapB, but includes a unique tetraheme c-type cytochrome, NapM. FEMS Microbiol. Lett. 248, 217–225.
- Marietou, A., Griffiths, L., 2008. Preferential reduction of the thermodynamically less favorable electron acceptor, sulfate, by nitrate-reducing strain of the sulfate-reducing bacterium *Desulfovibrio desulfuricans* 27774. J. Biol. 191(3), 882–889.
- Mohanakrishnan, J., Kofoed, M.V., Barr, J., Yuan, Z., Schramm, A., Meyer, R.L., 2011. Dynamic microbial response of sulfidogenic wastewater biofilm to nitrate. Appl. Microbiol. Biotechnol. 91(6), 164–175.
- Okabe, S., Ito, T., Satoh, H., 2003. Sulphate-reducing bacterial community structure and their contribution to carbon mineralization in a wastewater biofilm growing under microaerophilic conditions. Appl. Microbiol. Biotechnol. 63, 322–334.
- Peretjatko, T.B., Galushka, A.A., Gudz', S.P., 2009. Vykorystannya metaliv jak kincevyh akceptoriv elektroniv sul'fatvidnovlyval'nymy bakterijamy [The use of metals as final acceptor of electrons sulphate-reducing bacteria]. Biologichni Studii 3(3), 141–158 (in Ukrainian).
- Peretyatko, T.B., Galushka, A.A., Hnatush, S.O., 2006. Vykorystannya orhanichnyh spolkul sul'fatvidnovlyval'nymy bakterijamy rodu *Desulfovibrio* [Using organic compounds sulfate-reducing bacteria of the genus *Desulfovibrio*]. Naukovyj visnyk Uzhhorods'koho Universytetu 18, 157–160 (in Ukrainian).
- Plugge, C.M., Weiwien, Z., Johannes, C.M., Alfons, J.M., 2011. Metabolic flexibility of sulfate-reducing bacteria. Front. Microbiol. 81(2), 1–8.
- Pochvy. Metod opredelenie ionov sulfata v vodnoji vyitiyazhke [Soil. Method for determination of sulfate ions in water extract]. GOST 26426-85. Izdatelstvo Standartov, Moscow (in Russian).
- Polanco, F.F., Polanco, M.F., Uruena, M.A., Garcia, P.A., Villaverde, S., 2001. Combining the biological nitrogen and sulphur cycles in anerobic conditions. Wat. Sci. Tech. 44(8), 77–84.
- Postgate, J.R., 1984. The sulfate-reducing bacteria. 2nd ed. Cambridge Univ. Press, Cambridge.
- Sholyak, K.V., Peretyatko, T.B., Gudz', S.P., 2013. Sul'fatvidnovlyval'ni bakteriyi, stijki do pidvyshhenyx koncentracij shestivalentnoho xromu [Sulfate-reducing bacteria resistant to high concentration of hexavalent chromium]. Mikrobiolohiya i Biotechnolohiya 2, 66–76 (in Ukrainian).
- Sugiyama, M., 2002. Reagent composition for measuring hydrogen sulfide and method for measuring hydrogen sulfide. United States Patent. № 6340596.
- Szewzyk, R., Pfennig, N., 1987. Complete oxidation of catechol by the strictly anaerobic sulfate-reducing *Desulfovibrio catecholicum* sp. nov. Arch. Microbiol. 147, 163–168.
- Tarasova, N.B., Gorshkov, O.V., Petrova, O.E., 2009. Nitratreduktaznaya aktivnost' *Desulfovibrio desulfuricans* BKM 1388 [Nitrate reductase activity of *Desulfovibrio desulfuricans* BKM 1388]. Mikrobiologiya 78(2), 192–196 (in Russian).

Надійшла до редколегії 23.06.2015