

**Н. С. Верхоляк, Т. Б. Перетятко**

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

## **МОРФОФІЗІОЛОГІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ СУЛЬФАТВІДНОВЛЮВАЛЬНИХ БАКТЕРІЙ, ВИДІЛЕНИХ ІЗ СИСТЕМИ ОЧИЩЕННЯ СТІЧНИХ ВОД М. ЛЬВОВА**

**Мета:** виділити сульфатвідновлювальні бактерії з системи очищення стічних вод міста Львова, дослідити морфологічні та фізіологічні властивості виділених мікроорганізмів. **Методи.** Об'єктом дослідження був штам сульфатвідновлювальних бактерій, виділений з системи очищення побутових та промислових стічних вод міста Львова. Проби води та мулу відбирали з первинного, вторинного відстійників і активного мулу системи очищення стічних вод міста Львова методом Столбунова-Рябова. Бактерії виділеного штаму культивували на селективному середовищі. Ідентифікацію виділеного штаму мікроорганізмів проводили за морфофізіологічними ознаками згідно визначника Берджі. Морфологію досліджуваної культури вивчали електронномікроскопічно. Для визначення наявності спор в клітинах їх забарвлювали за методом Пешкова. Вміст сульфат-йону та гідроген сульфід у культуральній рідині визначали фотометрично. **Результати.** Із активного мулу аеротенку системи очисних споруд міста Львова виділено штам спороутворювальних сульфатвідновлювальних бактерій, який також за відсутності сульфат-йону може використовувати елементну сірку як кінцевий акцептор електронів. За наявності сульфат-йону бактерії використовують лактат та ацетат як джерела карбону. Мікроорганізми мають форму коротких паличок, за Грамом забарвлюються негативно. Виділений штам бактерій належить до нейтрофільних, мезофільних мікроорганізмів. За морфологічними і фізіологічними властивостями виділений штам ідентифікований як *Desulfotomaculum ARI*. **Висновки.** Сульфатвідновлювальні бактерії *Desulfotomaculum ARI*, виділені з мулу аеротенку системи очищення стічних вод м. Львова нагромаджують до 18 мМ гідроген сульфід за наявності у середовищі лактату чи ацетату як джерела карбону. Крім сульфат-йонів бактерії відновлюють елементну сірку, використовуючи її як кінцевий акцептор електронів.

**Ключові слова:** сульфатвідновлювальні бактерії, гідроген сульфід, дисиміляційна сульфатредукція, стічні води.

Сульфатвідновлювальні бактерії широко поширені в природі і впливають на біогеохімічні цикли карбону, сульфуру та металів у водному і ґрунтовому середовищах [9]. Вони здійснюють дисиміляційне відновлення сульфат-йонів і зв'язують потоки карбону і сульфуру в анаеробних біотопах, що



містять оксоаніони сульфуру. Сульфатвідновлювальні бактерії використовують сульфат-йон як кінцевий акцептор електронів і отримують енергію для росту внаслідок окиснення органічних речовин або молекулярного водню [15]. Продукт життєдіяльності сульфатвідновлювальних бактерій – гідроген сульфід – може взаємодіяти з йонами важких металів, утворюючи нерозчинні сульфіди металів, або відновлювати розчинні токсичні йони металів з утворенням менш токсичних чи менш розчинних форм [9].

За участю сірко- та сульфатвідновлювальних бактерій відбувається осадження і міграція важких металів у водоймах та їх залучення в глобальні біогеохімічні цикли. Утворений у процесі сульфатного дихання гідроген сульфід може відновлювати йони важких металів зі змінною валентністю (Cu (II), Cd (II), Ni (II), Pb (IV), Cr (VI) та інші) та осаджувати їх [9, 14].

Стічні води міста Львова через систему каналізаційних колекторів і насосних станцій надходять на каналізаційні очисні споруди, де здійснюється їхнє механічне і біологічне очищення, після чого воду скидають в ріку Полтву, а одержану густу фракцію вивозять на мулові майданчики [7].

У процесі біологічного очищення промислових і побутових стічних вод вирішальну роль відіграють мікроорганізми. З літератури відомо про важливу роль сульфатвідновлювальних бактерій у цих процесах. Сульфатвідновлювальні бактерії за анаеробних умов забезпечують повне вилучення йонів важких металів з одночасним очищенням від органічних речовин [2].

В основу технології використання сульфатвідновлювальних бактерій для осадження йонів металів з промислових стічних вод покладено принцип стимулювання розвитку сульфатвідновлювальних бактерій за анаеробних умов збагаченням середовища доступними для них органічними речовинами. З цією метою переважальним є використання дешевих, характерних для певного виробництва органічних сполук (барди, меляси, парафінів нафти тощо) [5].

Негативним наслідком діяльності сульфатвідновлювальних бактерій у системі очищення стоків є їх здатність індукувати корозію металевих конструкцій очисних споруд та водогонів. Найбільше на корозію металу в підземному середовищі впливають бактерії циклу сірки – тіонові та сульфатвідновлювальні. З їх діяльністю пов'язане утворення самородної сірки, сульфідних родовищ, сірководневих вод, а також виникнення корозійно небезпечних ситуацій. Нерідко масштаби утворення і накопичення сірчаної кислоти, сірководню та елементної сірки біогенного походження настільки великі, що корозійну активність бактерій циклу сірки можна розглядати як один із видів їх геохімічної діяльності [6]. Це питання також є актуальною проблемою сьогодення.

Метою роботи було виділити сульфатвідновлювальні бактерії з системи очищення стічних вод міста Львова, дослідити їх морфологічні та фізіологічні властивості.

### **Матеріали та методи**

Штами сульфатвідновлювальних бактерій виділяли з системи очищення побутових та промислових стічних вод міста Львова. Проби води та мулу



для виявлення і виділення з них сульфатвідновлювальних бактерій відбирали з води первинного, вторинного відстійників і активного мулу аеротенку системи очищення стічних вод м. Львова методом Столбунова-Рябова [1]. Розведені проби води та мулу вносили в пробірки, повністю заливали лактатним середовищем такого складу (г/л): дріжджовий екстракт – 1, натрій лактат – 4, амоній хлорид – 0,5, калій гідрофосфат – 1,0, магній сульфат гептагідрат – 0,2, кальцій хлорид дигідрат – 0,1, ферум (II) сульфат гептагідрат – 0,1, натрій сульфат – 0,5 [13] та культивували у термостаті за температури 30 °С протягом 15 діб. Далі проводили багаторазові пересіви на середовище Постгейта В [15].

Із виділених штамів, подальші дослідження проводили зі штамом сульфатвідновлювальних бактерій, здатним до спороутворення.

Для культивування виділеного штаму бактерій, дослідження його фізіологічних властивостей використовували середовище Постгейта С [15] та модифіковане середовище Постгейта С (без сульфат-йонів) з елементною сіркою (1 г/л).

У процесі виділення штаму сульфатвідновлювальних бактерій проводили мікроскопічний контроль чистоти культури (світловий мікроскоп,  $\times 1600$ ).

Для створення анаеробних умов, виділений штам сульфатвідновлювальних бактерій культивували у пробірках об'ємом 20 мл без контакту середовища з повітрям. Для підтвердження відсутності кисню використовували індикатори анаеробного стану (Oxoid, Англія).

Вміст сульфат-йонів визначали турбідиметрично після їхнього осадження барій хлоридом. Для стабілізації суспензії використовували гліцерин [4]. Кількість гідроген сульфід у культуральній рідині фотометрично з використанням *n*-амінодиметиланілін дигідрохлориду [16].

Для визначення оптимальних температури росту та кислотності середовища бактерії культивували у пробірках з рідким середовищем Постгейта С за різних значень температур (4–65 °С) та рН (0–12).

Біомасу бактерій визначали за мутністю суспензії клітин фотометруванням на фотоелектроколориметрі КФК–3 ( $\lambda=340$  нм, кювета 3 мм).

Ідентифікацію виділеного штаму сульфатвідновлювальних бактерій проводили за морфофізіологічними ознаками згідно визначника Берджі [8].

Для визначення здатності виділеного штаму бактерій утворювати спори, суспензію клітин прогрівали на водяній бані за температури 80 °С, після чого її висівали на агаризоване середовище та культивували за анаеробних умов. Для визначення наявності спор в клітинах їх додатково забарвлювали за методом Пешкова [13].

Морфологію бактерій досліджували за допомогою сканувальної електронної мікроскопії з використанням СЕМ JEOL T220A у лабораторії фізичних методів дослідження кафедри фізики Землі Львівського національного університету імені Івана Франка. Поверхню зразків напилували тонким шаром срібла у вакуумному напилувачі ВУП-5. Прискорювальна напруга становила 25 кВ [12].

Статистичне опрацювання отриманих результатів проводили з використанням програми „Microsoft Excel”. Результати представлені як середнє значення з поправкою на стандартну похибку ( $M \pm m$ ).



### Результати та їх обговорення

Для виділення сульфатвідновлювальних бактерій із системи очищення стічних вод м. Львова, проби води та мулу, відібрані з різних ланок системи очищення стічних вод, а саме – з первинного, вторинного відстійників та активного мулу, висівали у лактатне середовище. Після цього методом серійних розведень здійснювали багаторазові пересіви на середовище Постгейта В. У результаті відновлення бактеріями сульфат-іонів утворюється водень сульфід, який, взаємодіючи з йонами феруму (II), утворює осад чорного кольору, що вказує на наявність сульфатвідновлювальних бактерій.

Кількість сульфатвідновлювальних бактерій на різних етапах системи очищення стоків міста коливається в різних межах. В первинному відстійнику та активному мулі їх титр складає  $1 \times 10^2$  КУО/мл, а у аеротенку –  $4 \times 10^2$  КУО/мл, тоді як у вторинному відстійнику їх не виявлено [11].

Здатність до дисиміляційної сульфатредукції, у результаті чого у середовищі нагромаджується водень сульфід вказує на те, що виділені бактерії згідно визначника Берджі належать до групи 7 – Бактерії, що здійснюють дисиміляційне відновлення сульфату або сірки. Загальними властивостями цих бактерій, що об'єднують їх в єдину еколого-трофічну групу, є чіткий анаеробіоз і здатність до дисиміляційного відновлення сульфат-іонів.

Виділений штам сульфатвідновлювальних бактерій має вигляд коротких паличок розміром  $1,0 \times 1,5$  мкм (рис. 1). За Грамом виділені мікроорганізми забарвлюються негативно, анаероби.

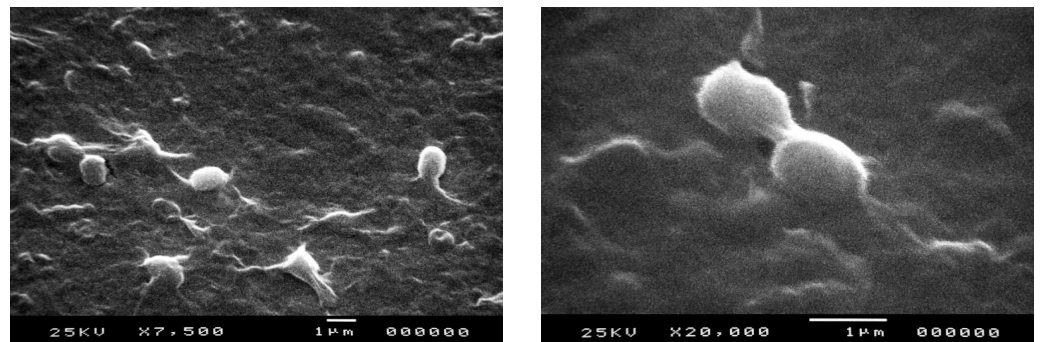


Рис. 1. Сульфатвідновлювальні бактерії штаму, виділеного з активного мулу очисних споруд м. Львова (сканувальна електронна мікроскопія,  $\times 7\,500$ ;  $\times 20\,000$ )

Fig. 1. Sulfate-reducing bacteria of strain, isolated from active sludge of the system of sewage treatment in Lviv (scanning electron microscopy,  $\times 7,500$ ;  $\times 20,000$ )

Для визначення оптимальних температури і рН виділений штам бактерій культивували у селективному середовищі Постгейта С за різних температур та рН. Виділений штам належить до мезофільних та нейтрофільних мікроорганізмів, з оптимальними температурою росту  $25\text{--}37$  °С та рН  $6,0\text{--}7,5$  (табл. 1).

Систематика сульфатвідновлювальних бактерій згідно визначника Берджі [8] базується на морфологічних, фізіологічних та біохімічних власти-

востях мікроорганізмів. До першої підгрупи 7 групи визначника Берджі належать сульфатвідновлювальні бактерії, здатні до спороутворення – це бактерії роду *Desulfotomaculum*. До трьох інших підгруп належать неспороутворювальні бактерії. Друга підгрупа об'єднує сульфатвідновлювальних бактерій, які здійснюють неповне окиснення органічних субстратів. До третьої підгрупи належать бактерії, що окиснюють субстрати до CO<sub>2</sub>. Четверта підгрупа об'єднує роди сульфатвідновлювальних бактерій, представники яких, крім сульфат-йонів, здатні відновлювати елементну сірку [8].

Таблиця 1

**Характеристика ізольованого штаму сульфатвідновлювальних бактерій**

Table 1

**Characteristics of the isolated strain of sulfate-reducing bacteria**

Здатність до спороутворення		так
Забарвлення за Грамом		грамнегативні
Ріст за температури	4–20 °С	–
	25–37 °С	+
	45–65 °С	–
Ріст за рН	2,0–5,5	–
	6,0–7,5	+
	8,0–12,0	–
Повне окиснення органічних субстратів		+
Акцептори електронів	сульфат-йон	+
	сірка	+
Донори електронів	ацетат	+
	лактат	+

Примітка: “–” – відсутність росту; “+” – наявність росту

Note: “–” – absence of growth; “+” – presence of growth

Щоб з'ясувати до якої групи належить виділений штам сульфатвідновлювальних бактерій, їх висівали у середовище Постгейта С з додаванням натрій лактату та натрій ацетату. Акцепторами електронів були сульфат-йон та елементна сірка.

За культивування штаму бактерій, виділеного з активного мулу аеротенку, у середовищі з натрій лактатом і сульфат-йоном (30 мМ) бактерії нагромадили близько 3 г/л біомаси (рис. 2, а). За цих умов концентрація сульфат-йону знизилася вдвічі, а у середовищі виявлено 14 мМ гідроген сульфід. Під час культивування виділених мікроорганізмів у середовищі Постгейта С з натрій ацетатом (рис. 2, б), біомаса бактерій становила 3,4 г/л. У культуральному середовищі за цих умов виявлено 18 мМ гідроген сульфід.

Одним із основних факторів, який обмежує ріст *D. desulfuricans* Ya-11 за наявності в середовищі донорів і акцепторів електронів є гідроген сульфід [10]. Різні мікроорганізми виявляють різну чутливість до гідроген сульфід у середовищі. Згідно з даними літератури, найстійкішими до гідроген сульфід



є дріжджі *P. guilliermondii*, а найбільш чутливими – *D. desulfuricans* [3]. У мікроорганізмів за пригнічувальних концентрацій гідроген сульфід спостерігається дезорганізація клітинної стінки, зміни в мембранних структурах і нагромадження сульфідів, які викликають зміни у структурі цитоплазми. Всі перелічені зміни у клітині можуть призвести до загибелі бактерій [3].

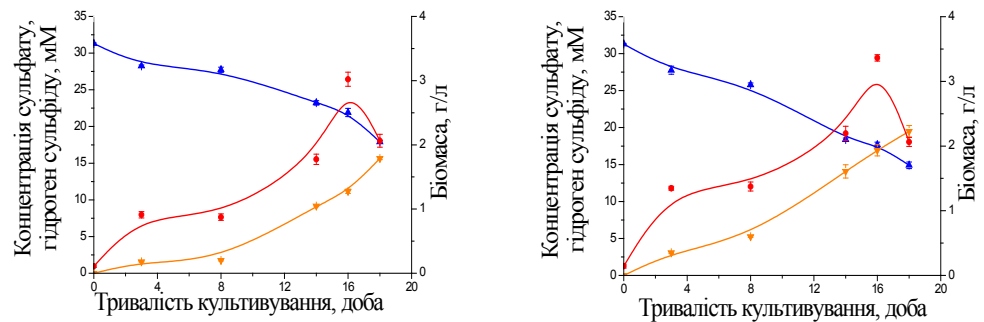


Рис. 2. Нагромадження біомаси (—●—), гідроген сульфід (—▼—) та використання сульфату (—▲—) штамом сульфатвідновлювальних бактерій, виділеним з активного мулу аеротенку системи очищення стічних вод міста Львова, у середовищі з натрій лактатом (а) та натрій ацетатом (б) як джерелами карбону

Fig. 2. Accumulation of biomass (—●—), hydrogen sulfide (—▼—) and the utilization of sulfate (—▲—) by strain of sulfate-reducing bacteria, isolated from active sludge of aerotanks of wastewater treatment system of Lviv, in the medium with sodium lactate (a) and sodium acetate (b) as a carbon source

Виділений штам є більш стійким до підвищених концентрацій гідроген сульфід, порівняно з іншими видами сульфатвідновлювальних бактерій. Ріст бактерій *D. desulfuricans* Ya-11 повністю пригнічувався за наявності 6 мМ сульфід у середовищі. Додавання сульфід у концентраціях 6,3 і 9,4 мМ до середовища культивування бактерій, що перебували у логарифмічній фазі росту, призводило до повного припинення росту культури [10].

Перевірка здатності бактерій виділеного штаму утворювати спори дала позитивні результати. Згідно визначника бактерій Берджі, серед сульфатвідновлювальних бактерій утворювати спори можуть представники роду *Desulfotomaculum*.

Крім сульфат-йону, як акцептор електронів сульфатвідновлювальні бактерії родів *Desulfobulbus*, *Desulfomicrobium*, *Desulfomonas*, *Desulfovibrio* ін. можуть використовувати елементну сірку [8]. За культивування сульфатвідновлювальних бактерій виділеного штаму у модифікованому середовищі Постгейта С з додаванням елементної сірки, встановлено, що вони можуть використовувати елементну сірку за відсутності сульфат-йонів. Біомаса за таких умов становила 3,2 г/л (рис. 3).

Отже, згідно проведених досліджень здатності використовувати сульфат-йони, нагромаджувати гідроген сульфід, засвоювати різні органічні сполуки, морфологічних ознак, здатності до спороутворення дають змогу ідентифікувати виділений штам сульфатвідновлювальних бактерій як *Desulfotomaculum* AR1.



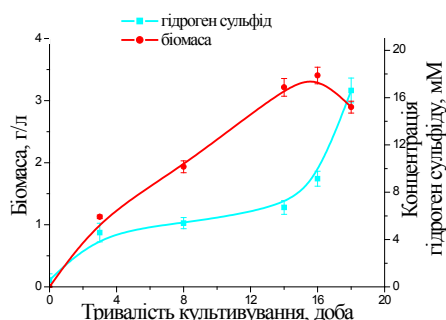


Рис. 3. Ріст та сульфідогенна активність сульфатвідновлювальних бактерій виділеного штаму у середовищі Постгейта С з елементною сіркою як акцептором електронів

Fig. 3. Growth and sulfidogenic activity of sulfate-reducing bacteria of isolated strain in Posgate C medium with elemental sulfur as an electron acceptor

Сульфатвідновлювальні бактерії *Desulfotomaculum* AR1, виділені з мулу аеротенку системи очищення стічних вод м. Львова нагромаджують до 18 мМ гідроген сульфід за наявності у середовищі лактату чи ацетату як джерела карбону. Крім сульфат-йонів бактерії відновлюють елементну сірку, використовуючи її як кінцевий акцептор електронів.

Здатність бактерій *Desulfotomaculum* AR1 використовувати сульфат-йони та елементну сірку дає змогу вважати їх перспективними для очищення стічних вод від  $S^0$  і  $SO_4^{2-}$ , а їх здатність до спороутворення забезпечує більшу стійкість і виживання за умов неконтрольованого скиду забруднених стоків.

**Н. С. Верхоляк, Т. Б. Перетятко**

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

## МОРФОФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СУЛЬФАТРЕДУЦИРУЮЩИХ БАКТЕРИЙ, ВЫДЕЛЕННЫХ ИЗ СИСТЕМЫ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД Г. ЛЬВОВА

### Реферат

**Цель:** выделить сульфатредуцирующие бактерии из системы очистки сточных вод города Львова, исследовать морфологические и физиологические свойства выделенных микроорганизмов. **Методы.** Объектом исследования был штамм сульфатредуцирующих бактерий, выделенный из системы очистки бытовых и промышленных сточных вод города Львова. Пробы воды и ила отбирали из первичного, вторичного отстойников и активного ила системы очистки сточных вод города Львова методом Столбунова-Рябова. Выделенный штамм бактерий культивировали на селективной среде. Идентификацию выделенного штамма микроорганизмов проводили по мор-



фoфизиологическим признакам согласно определителя Берджи. Морфологию исследуемых культур изучали электронно-микроскопическим методом. Для определения наличия спор в клетках их красили по методу Пешкова. Содержание сульфат-иона и сероводорода в культуральной жидкости определяли фотометрическим методом. **Результаты.** Из активного ила аэротенка системы очистных сооружений города Львова выделено штамм спорообразующих сульфатредуцирующих бактерий, который также при отсутствии сульфат-иона может использовать элементную серу в качестве конечного акцептора электронов. При наличии сульфат-иона бактерии используют лактат и ацетат в качестве источника углерода. Микроорганизмы имеют форму коротких палочек. По Граму окрашиваются отрицательно. Выделенный штамм бактерий относится к нейтрофильным и мезофильным микроорганизмам. По морфологическим и физиологическим свойствам выделенный штамм идентифицирован как *Desulfotomaculum AR1*. **Выводы.** Сульфатредуцирующие бактерии *Desulfotomaculum AR1*, выделенные из ила аэротенка системы очистки сточных вод города Львова накапливают до 18 ммоль сероводорода при наличии в среде лактата или ацетата как источника углерода. Кроме сульфат-ионов бактерии восстанавливают элементную серу, используя ее в качестве конечного акцептора электронов.

**Ключевые слова:** сульфатредуцирующие бактерии, сероводород, диссимиляционная сульфатредукция, сточные воды.

**N. S. Verkholiak, T. B. Peretyatko**

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

## MORPHOPHYSIOLOGICAL PROPERTIES OF SULFATE-REDUCING BACTERIA ISOLATED FROM THE SYSTEM OF LVIV WASTEWATER TREATMENT

### Summary

**Aim:** to isolate the sulfate-reducing bacteria from the system of sewage treatment in the city of Lviv, to study the morphological and physiological properties of isolated microorganisms. **Methods.** The research object was a strain of sulfate-reducing bacteria, isolated from the system of treatment the domestic and industrial wastewater of the city of Lviv. Water and sludge samples were taken from the primary, secondary settlers and active sludge of the wastewater treatment system of the city of Lviv by the Stolbinov-Ryabov method. The isolated strain of bacteria was cultivated on a selective medium. Identification of the isolated strain of microorganisms was carried out according to morphophysiological features in accordance with the Bergey's manual. The morphology of the studied cultures was studied by electron microscopy. To determine the presence of spores in the cells, they were stained by the method of Peshkov. The content of sulfate and hydrogen sulfide in the culture liquid was determined photometrically. **Results.** From active sludge of the aerotank system of the treatment facilities of the city of Lviv allocated a strain of spore-forming sulfate-reducing bacteria, which also, in the absence of sulfate-ion, can use elemental sulfur as a final electron acceptor. In the presence of sulfate ion bacteria use lactate and acetate as a source of carbon. Microorganisms





are in the form of short rods, Gram-negative. The isolated strain of bacteria belongs to neutrophilic and mesophilic microorganisms. The isolated strain is identified as *Desulfotomaculum* AR1 by the morphological and physiological properties.

**Conclusions.** Sulfate-reducing bacteria *Desulfotomaculum* AR1, isolated from active sludge of aerotanks of the wastewater treatment system in the city of Lviv, accumulate up to 18 mM hydrogen sulfide in the presence of lactate or acetate in the medium as a source of carbon. In addition to sulfate ions, bacteria reduce elemental sulfur, using it as a final electron acceptor.

**Key words:** sulfate-reducing bacteria, hydrogen sulfide, dissimilatory sulfate reduction, sewage.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Антупчук А. Ф., Кіреєва І. Ю. Водна мікробіологія. – К.: Кондор, 2005. – 254 с.
2. Буракаєва Д., Русанов А., Лантух В. Методическое пособие. Роль микроорганизмов в очистке сточных вод от тяжелых металлов. – Оренбург, 1999. – 53 с.
3. Галушка А. А., Гудзь С. П. Структурно-функціональні зміни в клітинах мікроорганізмів при дії гідроген сульфідом // Біологічні студії. – 2009. – Т. 3, № 2. – С. 141–148.
4. ГОСТ 26426-85. Почвы. Метод определения ионов сульфата в водной вытяжке. М.: Изд-во стандартов, 1985. – С. 43–46.
5. Илялетдинов А. Н., Алиева Р. М. Микробиология и биотехнология очистки промышленных сточных вод. – Алма-Ата: Гылым. – 1990. – 250 с.
6. Козлова І., Коптєва Ж., Заніна В., Пуріш Л. Мікробна корозія як прояв техногенезу у біоплівці, що формується на поверхні підземних споруд // Фізико-хімічна механіка матеріалів – 2010. – № 3. – С. 98–107.
7. Оліферчук В. П., Матвієнко М. Т., Войтович І. Г. Можливість використання осаду стічних вод очисних споруд Львова для виробництва біогазу // Науковий вісник НЛТУ. – 2009. – Вип. 19.9. – С. 72–76.
8. *Определитель бактерий Берджи* / Под ред. Дж. Хоулта, Р. Крига, П. Снита, Дж. Стейли, С. Уильямса. – М.: Мир, 1997. – 432 с.
9. Перетятко Т. Б., Галушка А. А., Гудзь С. П. Використання металів як кінцевих акцепторів електронів сульфатвідновлювальними бактеріями // Біологічні студії. – 2009. – Том 3, № 3 – С. 131–148.
10. Перетятко Т. Б., Гнатуш С. О., Гудзь С. П. Утворення сульфідом *Desulfovibrio desulfuricans* Ya-11 за різних умов культивування // Вісник Львів. ун-ту. Серія біол. – 2007. – 43. – С. 180–184.
11. Шоляк К. В., Перетятко Т. Б., Гудзь С. П. Поширення хромрезистентних мікроорганізмів у стічних водах // Агроєкологічний журнал. – 2013. – № 3. – С. 81–85.
12. Bergmans L., Moisiadis P., Van Meerbeek B., Quirynen M., Lambrechts P. Microscopic observation of bacteria: review highlighting the use of environmental SEM // International Endodontic Journal, 2005. – 38. – P. 775–788.
13. Gerhardt P., Murray R. G. E., Wood W. A., Krieg N. R. Methods for General and Molecular Bacteriology. – American Society for Microbiology, 1994. – 791 p.



14. Hussain A., Hasan A., Javid A., Qazi J. I. Exploited application of sulfate-reducing bacteria for concomitant treatment of metallic and non-metallic wastes: a mini review // 3 Biotech. – 2016. – 6:119. [https://doi.org/10.1007/s13205-016-0437-3]
15. Postgate J. R. The sulfate-reducing bacteria. 2<sup>nd</sup> ed. – Cambridge: Cambridge Univ. press, 1984. – 199 p.
16. Sugiyama M. Reagent composition for measuring hydrogen sulfide and method for measuring hydrogen sulfide. United States Patent N 6340596, 2002.

### References

1. Antipchuk AF, Kireeva IY. Water microbiology. K.:Condor; 2005. 254 p. (in Ukrainian).
2. Burakayeva D, Rusanov A, Lantukh V. Methodical manual. The role of microorganisms in the purification of sewage from heavy metals. Orenburg; 1999. 53 p. (in Russian).
3. Halushka AA, Gudz SP. Structural and functional changes in the cells of microorganisms under the influence of hydrogen sulfide. *Studia Biologica*. 2009; 3(2):141–148. (in Ukrainian).
4. GOST 26426-85. Soils. Method of sulfate ions in an aqueous extract determination. Moscow: Publishing House of Standards. 1985; 43–46. (in Russian).
5. Ilyaletdinov AN, Alieva RM. Microbiology and biotechnology of industrial wastewater treatment. Alma-Ata: Gylim; 1990. 250 p. (in Russian).
6. Kozlova I, Kopteva Zh, Zanina V, Purish L. Microbial corrosion as a manifestation of technogenesis in biofilms formed on surfaces of underground structures. *Physicochemical Mechanics of Materials*. 2010; 3:98–107. (in Ukrainian).
7. Oliferchuk VP, Matvienko MT, Voytovich IG. Flow waters sediment use possibilities of Lviv's sewage disposal plant for biogas production. *Scientific Bulletin of NUFWT of Ukraine*. 2009; 19.9:72–76. (in Ukrainian).
8. Hoult J, Krieg R, Snit P, Staley J, Williams S. Bergey's manual of systematic bacteriology. Moscow: Mir; 1997. 432 p. (in Russian).
9. Peretyatko TB, Halushka AA, Gudz SP. Usage of metals as the terminal electron acceptors by the sulfatereducing bacteria. *Studia Biologica*. 2009; 3(3): 131–148. (in Ukrainian).
10. Peretyatko T, Hnatush S, Gudz S. The creation of sulfide by *Desulfovibrio desulfuricans* YA-11 in differen cultivation conditions. *Visnyk of L'viv univ. Biology series*. 2007; 43:180–184. (in Ukrainian).
11. Sholyak KV, Peretyatko TB, Gudz SP. Distribution of chromium-resistant microorganisms in sewage. *Agroecological Journal*. 2013; 3:81–85. (in Ukrainian).
12. Bergmans L, Moisiadis P, Van Meerbeek B, Quirynen M, Lambrechts P. Microscopic observation of bacteria: review highlighting the use of environmental SEM. *International Endodontic Journal*. 2005; 38: 775–788.
13. Gerhardt P, Murray RGE, Wood WA, Krieg NR. Methods for General and Molecular Bacteriology. American Society for Microbiology; 1994. 791 p.
14. Hussain A, Hasan A, Javid A, Qazi JI. Exploited application of sulfate-reducing bacteria for concomitant treatment of metallic and non-metallic wastes: a



mini review. 3 Biotech. 2016; 6:119.

15. Postgate JR. The sulfate-reducing bacteria. 2nd ed. Cambridge: Cambridge Univ. press; 1984. 199 p.

16. Sugiyama M. Reagent composition for measuring hydrogen sulfide and method for measuring hydrogen sulfide. United States Patent N 6340596. 2002.

Стаття надійшла до редакції 17.06.2018 р.

