

УДК 579.266/68(477)

ЗАКОНОМІРНОСТІ УТВОРЕННЯ СІРКОВОДНЮ СУЛЬФАТВІДНОВЛЮВАЛЬНИМИ БАКТЕРІЯМИ ВОДОЙМИ КАР'ЄРУ ЯВОРІВСЬКОГО СІРКОВОГО РОДОВИЩА

Мороз О. М.

Закономірності утворення сірководню сульфатвідновлювальними бактеріями водойми кар'єру Яворівського сіркового родовища. — О. М. Мороз. — Виявлено інтенсивні процеси відновлення сульфатів до сірководню у глибинній зоні озера "Яворівське", про що свідчить висока чисельність сульфатвідновлювальних бактерій на глибині 72 м: $(1,99 \pm 0,05) \cdot 10^6$ кл/мл. З водойми кар'єру Яворівського сіркового родовища отримано 10 чистих культур сульфатвідновлювальних бактерій, які за результатами досліджень основних морфологічних та фізіологічних особливостей попередньо віднесено до другої підгрупи сульфатвідновлювальних бактерій згідно Берджі, роду *Desulfovibrio*. Всі культури, як і штами *Desulfovibrio desulfuricans* K-45 та Ya-11, активно утворювали сірководень (44,54 – 62,56 мг/л, контроль: 26,30–39,61 мг/л) та нагромаджували ацетат (0,42–0,54 г/л, контроль: 0,23–0,26 г/л) під час росту у середовищі Кравцова-Сорокіна, що підтвердило припущення про їхню приналежність до роду *Desulfovibrio*. Встановлено позитивний вплив на сульфатредукцію збільшення концентрацій як акцептора (іонів сульфату), так і донора електронів (лактату натрію) у середовищі культивування. Найбільшу кількість сірководню клітини продукували при збільшенні концентрації іонів сульфату у середовищі втричі: культура Yav-8 за 10 діб утворювала 74,2 мг/л (контроль: 61,50 мг/л) сірководню. Підвищення концентрації лактату натрію у шість разів у середовищі з підвищенням у три рази вмістом сульфатів ще більше стимулювало процес сульфатредукції: культура Yav-8 за 10 діб утворювала 88,30 мг/л сірководню.

Ключові слова: сульфатвідновлювальні бактерії, *Desulfovibrio*, сульфатредукція, сірководень, ацетат, іони сульфату, лактат натрію.

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

Regularities of hydrogen sulfide production by sulfate reducing bacteria from water of Yavoriv sulfur deposit open pit. — O. Moroz. — Intensive processes of sulfates reduction into hydrogen sulfide in deep zone of "Yavorivske" lake were discovered. Evidence of it is great quantity of sulfate reducing bacteria on 72 m depth: $(1,99 \pm 0,05) 10^6$ cells/ml. From water of Yavoriv sulfur deposit open pit 10 pure sulfate reducing bacteria cultures were isolated. All isolated pure cultures according to results of main morphological and physiological peculiarities investigations belong to representatives of second subgroup of sulfate reducing bacteria according Bergey, *Desulfovibrio* genus. All cultures like as strains *Desulfovibrio desulfuricans* K-45 and Ya-11 actively made hydrogen sulfide (44,54 – 62,56 mg/l, control: 26,30–39,61 mg/l) and accumulated acetate (0,42–0,54 g/l, control: 0,23–0,26 g/l) during cultivation in Kravtsov-Sorokin's medium, what is additional evidence their belonging to *Desulfovibrio* genus. Positive influence on sulfates reduction makes increasing of acceptor (sulfate ions) and donor (sodium lactate) electrons concentrations in cultivation medium was discovered. The most quantity of hydrogen sulfide cells produced after sulfate ions concentration increasing in medium at three times: culture Yav-8 produced 74,2 mg/l (control: 61,50 mg/l) hydrogen sulfide after 10 days. Increasing of sodium lactate concentration at six times in medium with increasing at three times quantity of sulfates some more stimulates sulfates reduction process: culture Yav-8 after 10 days created 88,30 mg/l hydrogen sulfide.

Key words: sulfate reducing bacteria, *Desulfovibrio*, sulfates reduction, hydrogen sulfide, acetate, sulfate ions, sodium lactate.

Address: Ivan Franko National University of L'viv, Hrushevsky Str., 4, Lviv 79005, Ukraine; e-mail: moroz_oksana@yahoo.com

Вступ

Відкритий спосіб видобутку сірки з Яворівського сіркового родовища порушив природні процеси мікробної трансформації сірки, які підтримували рівновагу її сполук у цьому регіоні, умови життєдіяльності сіркометаболізуючих бактерій, зробив її доступною для впливу атмосферного кисню і створив сприятливі умови для активного розвитку аеробних сіркоокиснювальних бактерій. Наслідком цих процесів стало нагромадження у довкіллі великої кількості сульфатів, які в анаеробних умовах за наявності органічних сполук інтенсивно ві-

дновлюються сульфатвідновлювальними бактеріями до високотоксичного для живих організмів та людини сірководню [16]. Сульфатвідновлювальні бактерії використовують сульфат і тиосульфат як акцептори електронів в анаеробному диханні або дисиміляційній сульфатредукції. На утворення кінцевого продукту – сірководню – витрачається вісім електронів у перерахунку на моль сульфату. Донором електронів при цьому слугує молекулярний водень, а також різноманітні органічні субстрати [19]. Окиснення органічних сполук або неповне, з утворенням ацетату як кінцевого продукту, або повне, з утворенням CO₂. У багатьох видів

сульфатвідновлювальних бактерій донорами електронів можуть бути жирні кислоти, етанол або дикарбонові кислоти, а також можливий автотрофний ріст за рахунок використання H_2 , CO_2 і сульфату. Зазвичай, джерелом азоту служать солі амонію. Усі досліджені види здатні фіксувати молекулярний азот [15]. Вони широко розповсюджені в анаеробних зонах морських та континентальних водойм, підземних водах нафтових і рудних пластів, ґрунтах, травному тракті тварин та інших нішах [18]. Експериментально доведено, що у водах, збагачених сульфатами, інтенсивність сульфатредукції визначає швидкість розвитку фотосинтезувальних сіркобактерій і безбарвних сіркоокиснювальних бактерій та є каталізатором кругообігу речовин біотопу загалом [1, 10, 12, 15]. Хімічні методи очистки вод енергозатратні, потребують численних органічних речовин-окисників, а нагромадження в результаті їх використання нових побічних продуктів робить їх малоефективними, тому слід шукати принципово нові біотехнологічні шляхи зниження впливу сульфатів та сірководню на природні водні екосистеми [3, 5]. Роль бактерій циклу сірки у процесах відновлення біоценозів і можливе використання їх для біоремедіації забруднених сульфатами і сірководнем водних ресурсів на території сіркових родовищ недостатньо вивчена [4, 6]. Дослідження біогенезу сірководню у техногенних водоймах сірковидобувних регіонів має важливе значення для розуміння механізмів регулювання його вмісту у водному доквіллі, зокрема, біологічними методами.

Метою роботи було вивчити розповсюдження сульфатвідновлювальних бактерій у воді озера "Яворівське", на основі морфо-фізіологічних особливостей ідентифікувати сульфатвідновлювальні бактерії, виділені з глибинної зони водойми кар'єру Яворівського сіркового родовища, а також з'ясувати вплив різних концентрацій акцептора (сульфатів) та донора електронів (лактату натрію) у середовищі культивування на утворення сірководню клітинами ізольованих культур.

Матеріали і методи

У роботі використовували штами сульфатвідновлювальних бактерій *Desulfovibrio desulfuricans* K-45 (Всеукраїнська колекція мікроорганізмів, Інститут мікробіології і вірусології ім. Д. К. Заболотного НАН України) та *D. desulfuricans* Ya-11 [16], а також 10 чистих культур сульфатвідновлювальних бактерій, виділених з водної проби, відібраної з глибини 72 м кар'єру Яворівського сіркового родовища.

Клітини сульфатвідновлювальних бактерій культивували у середовищі Кравцова-Сорокіна [9]. Культивування бактерій проводили у пробірках, об'ємом 25 мл, за анаеробних умов при температурі $+30^{\circ}C$.

Для визначення чисельності сульфатвідновлювальних бактерій у озері "Яворівське" водні проби

відбирали батометром з різних глибин (10, 20, 30, 40, 50, 60, 72 м) за методом Столбунова-Рябова [17]. Як контроль використовували пробу води з поверхневого шару водойми заповідника "Розточчя", яка, на відміну від техногенної водойми кар'єру сіркового родовища, не містить значно вищих допустимих норм концентрацій сполук сірки, зокрема, сульфатів [14, 16]. Чисельність бактерій виявляли за методом граничних розведень після висіву проб на середовище Кравцова-Сорокіна, кількість клітин бактерій у 1 мл проби (кл/мл) визначали, враховуючи розведення, за таблицею Мак-Креді [20].

Нагромаджувальні культури сульфатвідновлювальних бактерій отримали висівом водної проби з глибини 72 м на рідке середовище Кравцова-Сорокіна. Ріст культур спостерігали через 7–14 днів. Для виявлення сульфатвідновлювальних бактерій у середовище додавали залізо (II) у формі розчину солі Мора $[(NH_4)_2SO_4Fe(SO_4)_2 \times 6 H_2O]$. Утворений клітинами сульфід зв'язувався із внесеним залізом, що приводило до утворення FeS і надавало клітинам чорного кольору.

Для отримання чистих культур нагромаджувальну культуру сульфатвідновлювальних бактерій висівали у пробірки, які доверху заповнювали рідким середовищем Кравцова-Сорокіна. Після 7 діб культивування 0,05 мл суспензії клітин висівали у пробірки з агаризованим середовищем Кравцова-Сорокіна для отримання окремих колоній. Окремі колонії відбирали і знову переносили в пробірки, які доверху заповнювали рідким середовищем Кравцова-Сорокіна. Отримано 10 чистих культур бактерій, які використано для подальших досліджень.

Морфологію бактерій, які росли у середовищі Кравцова-Сорокіна без солі Мора (для отримання незабарвлених сульфідом заліза (II) клітин) впродовж 14 діб, вивчали шляхом перегляду фіксованих забарвлених фуксином препаратів під мікроскопом «Ergaval» при збільшенні у 1440 разів з використанням програми «Win Fast» для High performance colour CCD camera «VISION». Фіксовані забарвлені препарати виготовляли згідно методики [7].

Для перевірки на чистоту виділені культури висівали на середовище Кравцова-Сорокіна та неселективні середовища: м'ясо-пептонний агар (для сапрофітів), сусло-агар (для мікроскопічних грибів і дріжджів), крохмало-аміачний агар (для мікроорганізмів, що використовують мінеральні форми азоту, в тому числі актиноміцетів), Гільтаєва (для денітрифікаторів), Баалсруда (для *Thiobacillus denitrificans*), Ван Ніля (для фотосинтезувальних сіркобактерій) [7] і культивували в анаеробних умовах. Контрольними були штами *D. desulfuricans* K-45 та *D. desulfuricans* Ya-11. Наявність чи відсутність росту фіксували візуально.

Здатність бактерій утворювати спори визначали загальноприйнятим методом [13]. Суспензію клітин після її прогрівання на водяній бані при $80^{\circ}C$ протягом 10 хв висівали на середовище Кравцова-

Сорокіна та культивували за анаеробних умов впродовж 14 діб. Для визначення наявності спор клітини фарбували за методом Пешкова [7], морфологію вивчали під світловим мікроскопом (x 1600).

Досліджували утворення сірководню та нагромадження ацетату у процесі росту культур *Yav-1-10* і штамів *D. desulfuricans K-45* і *D. desulfuricans Ya-11* в середовищі Кравцова-Сорокіна. Густина засіву клітин становила 0,05 г/л. Визначення біомаси [16], концентрацій сірководню [11] і ацетату [2] проводили на 2, 5, 10 та 14 добу культивування. Клітини осаджували при 6000 об./хв. впродовж 15 хвилин, клітини відділяли, а у супернатанті визначали вміст сірководню та ацетату.

Досліджували вплив різних концентрацій іонів сульфату на ріст і утворення сірководню сульфатвідновлювальними бактеріями. Для цього клітини культур *Yav-6*, *Yav-8* і штаму *D. desulfuricans Ya-11* висівали у середовище Кравцова-Сорокіна, яке містило різні концентрації сульфатів. Концентрацію іонів сульфату у складі $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10 \text{H}_2\text{O}$, $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ та $\text{MgSO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$ у середовищі було збільшено у 3 (0,99 г/л), 5 (1,65 г/л) та 10 (3,30 г/л) разів (пропорційно для кожної сполуки), порівняно із стандартним вмістом SO_4^{2-} у середовищі Кравцова-Сорокіна, який становить 0,33 г/л (сумарно у трьох вище перелічених компонентах). Густина засіву – 0,05 г/л. На 2, 5, 10 та 14 доби культивування визначали біомасу та концентрацію сірководню.

Для дослідження впливу різних концентрацій лактату натрію на утворення сірководню клітини штаму *D. desulfuricans Ya-11* та культур *Yav-6* і *Yav-8* висівали у середовище Кравцова-Сорокіна із збільшеною втричі концентрацією сульфатів (0,99 г/л), яке містило різні концентрації лактату натрію. Вміст лактату натрію у середовищі було збільшено у 2 (4 г/л), 4 (8 г/л), 6 (12 г/л), 8 (16 г/л) та 10

(20 г/л) разів, порівняно із стандартним вмістом цієї сполуки у середовищі Кравцова-Сорокіна, який становить 2 г/л. Густина засіву була 0,05 г/л. На 2, 5, 10 та 14 доби культивування визначали біомасу та концентрацію сірководню.

Отримані результати опрацьовували статистично [8].

Результати досліджень та їх обговорення

Сульфатредукція – основний механізм утворення відновлених сполук сірки у водоймах. Було важливо дослідити розповсюдження сульфатвідновлювальних бактерій у озері “Яворівське”, оскільки кількість мікроорганізмів є суттєвим індикатором екологічного стану водойми. Проводили аналіз проб води, відібраних влітку 2009 року з різних глибин (табл.), оскільки в цей період року кількість мікроорганізмів у водоймі є найвищою [14]. Кількість сульфатвідновлювальних бактерій із збільшенням глибини кар’єру зростала від $(1,25 \pm 0,02) \cdot 10^3$ кл/мл у поверхневому шарі води до $(1,99 \pm 0,05) \cdot 10^6$ кл/мл на глибині 72 м, що свідчить про інтенсивні процеси відновлення сульфатів до сірководню в глибинній зоні водойми.

З глибини 72 м водойми кар’єру Яворівського сіркового родовища було відібрано водну пробу, з якої отримано нагромаджувальні та виділено 10 чистих культур сульфатвідновлювальних бактерій.

З метою ідентифікації, а також для переконання у чистоті вивчали морфологію виділених культур. Клітини бактерій поодинокі, сферичні, паличкоподібні, діаметром 0,5 – 2,5 мкм, їх морфологія характерна для сульфатвідновлювальних бактерій. За результатами мікроскопічних досліджень, а також за наявністю росту на селективному і відсутністю на неселективних середовищах зробили висновок про чистоту всіх отриманих культур.

Таблиця. Чисельність сульфатвідновлювальних бактерій у воді озера “Яворівське”, відібраний влітку 2009 року з різних глибин

Кількість мікроорганізмів, кл/мл									
Глибина відбору проб води, м									K**
0	10	20	30	40	50	60	72		
$(1,25 \pm 0,02) \cdot 10^3^*$	$(5,56 \pm 0,02) \cdot 10^4^*$	$(8,29 \pm 0,01) \cdot 10^4^*$	$(1,94 \pm 0,04) \cdot 10^5^*$	$(8,77 \pm 0,01) \cdot 10^5^*$	$(1,34 \pm 0,05) \cdot 10^6^*$	$(1,98 \pm 0,03) \cdot 10^6^*$	$(1,99 \pm 0,05) \cdot 10^6^*$	$(0,97 \pm 0,02) \cdot 10^2$	

Примітки: * – $p \leq 0,05$; ** – контроль: проба води, відібрана з поверхні водойми джерельного типу заповідника “Розточчя”

Аналіз здатності виділених культур сульфатвідновлювальних бактерій до спороутворення показав, що жодна з перевірених культур не є споротвірною. У зв’язку з цим можна припустити, що серед них немає представників споротвірного роду *Desulfofotomaculum*, а всі культури належать до другої підгрупи (за визначником Берджі), можливо, до роду *Desulfovibrio*.

Оскільки у представників другої підгрупи окиснення органічних сполук неповне з утворенням ацетату, вивчали нагромадження цієї сполуки у культуральній рідині під час росту 10-ти культур сульфатвідновлювальних бактерій у середовищі

Кравцова-Сорокіна (без солі Мора), а також рівень утворення ними сірководню (рис. 1). Як контроль використовували штами сульфатвідновлювальних бактерій *D. desulfuricans K-45* та *D. desulfuricans Ya-11*. Найбільшу біомасу нагромаджували культури *Yav-6* ($3,02 \pm 0,01$ г/л) та *Yav-8* ($3,14 \pm 0,02$ г/л) на 14 добу культивування. Контрольні штами за цей час нагромаджували біомасу: *D. desulfuricans K-45* – $2,02 \pm 0,02$ г/л та *D. desulfuricans Ya-11* – $2,17 \pm 0,01$ г/л. Досліджувані культури утворювали сірководень у кількості $44,54 \pm 0,04$ – $62,56 \pm 0,72$ мг/л, штам *D. desulfuricans K-45* – $39,61 \pm 0,21$ та

D. desulfuricans Ya-11 – $26,30 \pm 0,56$ мг/л після 14 діб культивування. Найбільше сірководню виявлено у культуральній рідині Yav-6 – $62,56 \pm 0,72$ мг/л та Yav-8 – $61,50 \pm 0,30$ мг/л. Всі досліджувані культури вже на 10 добу нагромаджували ацетат у концентраціях від $0,42 \pm 0,01$ до $0,54 \pm 0,02$ г/л (контрольні штами: $0,26 \pm 0,03$ – $0,23 \pm 0,02$ г/л). Таким чином, всі досліджувані культури утворювали сірководень та нагромаджували ацетат під час росту у середовищі Кравцова-Сорокіна на рівні контрольних штамів. Отже, проведені дослідження дозволяють зробити припущення про приналежність ізольованих культур до роду *Desulfovibrio*.

Було цікаво дослідити, чи збільшення у середовищі концентрації іонів сульфату як акцептора електронів стимулюватиме процес сульфатредукції. Для досліджень було обрано дві культури: Yav-6 та Yav-8, оскільки вони утворювали найбільше сірководню. Як контроль використовували штам *D. desulfuricans* Ya-11. Було вивчено вплив різних концентрацій сульфат-іону (0,33 (контроль); 0,99; 1,65 і 3,30 г/л) на ріст та утворення бактеріями сірководню (рис. 2). При зростанні

концентрації сульфат-іону від 0,33 до 0,99 г/л у середовищі росту всіх культур виявлено вищі біомасу та вміст сірководню. Найбільша кількість сірководню – $74,2 \pm 0,16$ мг/л, виявлена на 10 добу культивування Yav-8 у середовищі, яке містило 0,99 г/л SO_4^{2-} . Підвищення концентрації сульфат-іону у середовищі до 1,65 та 3,30 г/л не супроводжувалось подальшим зростанням біомаси та стимуляцією утворення клітинами сірководню. Можливо, окрім акцептора електронів, існують інші, лімітуючі процес дисиміляційної сульфатредукції фактори, такі як нестача донора електронів – органічних субстратів.

Було цікаво дослідити, чи збільшення концентрації лактату натрію на фоні високого вмісту іонів сульфату: 0,99 г/л, у середовищі стимулюватиме процес сульфатредукції. Для досліджень використали культури Yav-6 та Yav-8 як найефективніші продуценти сірководню (контроль – штам *D. desulfuricans* Ya-11). Вивчали вплив лактату натрію за концентрацій: 2 (контроль), 4, 8, 12, 16 та 20 г/л, у середовищі культивування на рівень утворення бактеріями сірководню (рис. 3 а, 3 б).

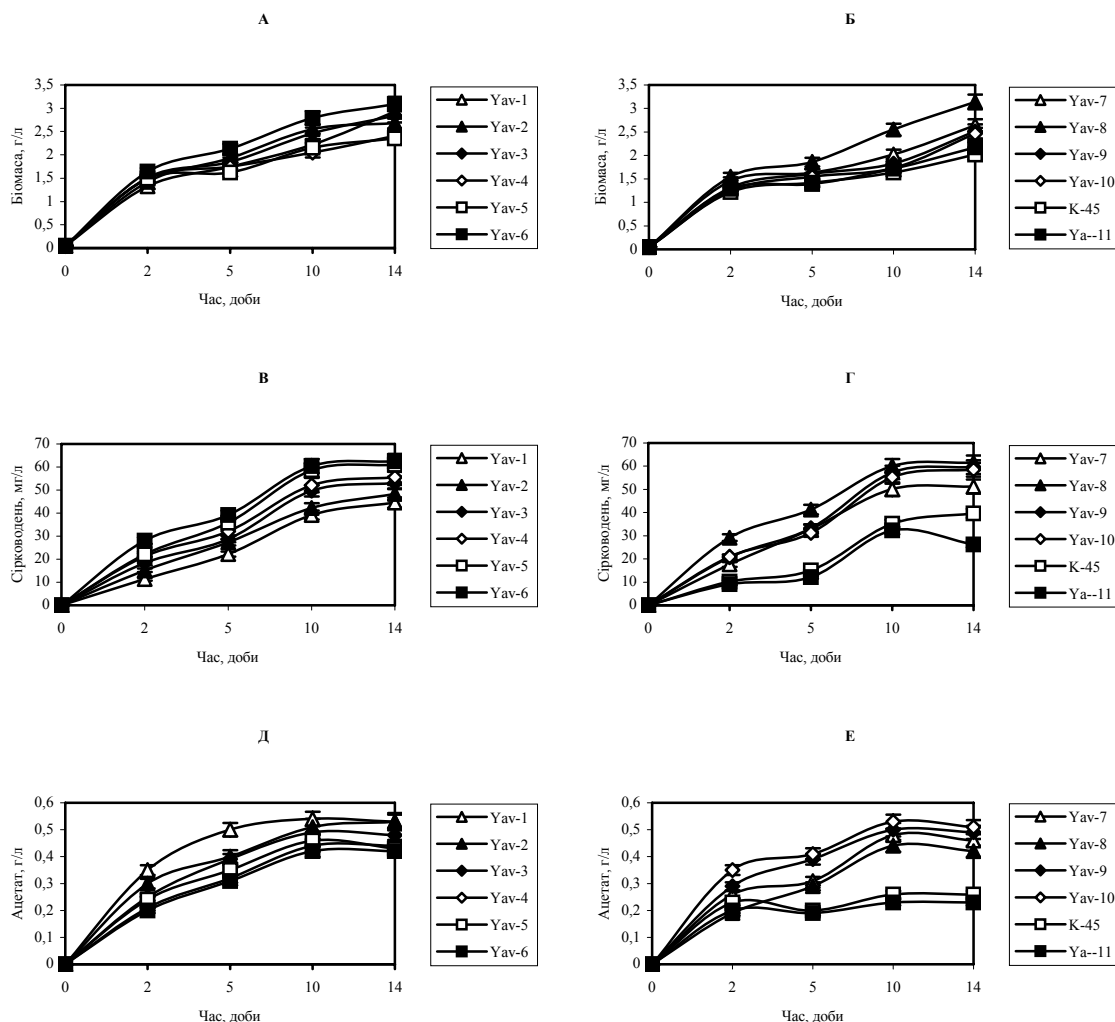


Рис. 1. Біомаса (А, Б), сірководень (В, Г) та ацетат (Д, Е) під час росту у середовищі Кравцова-Сорокіна культур сульфатвідновлювальних бактерій і штамів *D. desulfuricans* K-45 та Ya-11

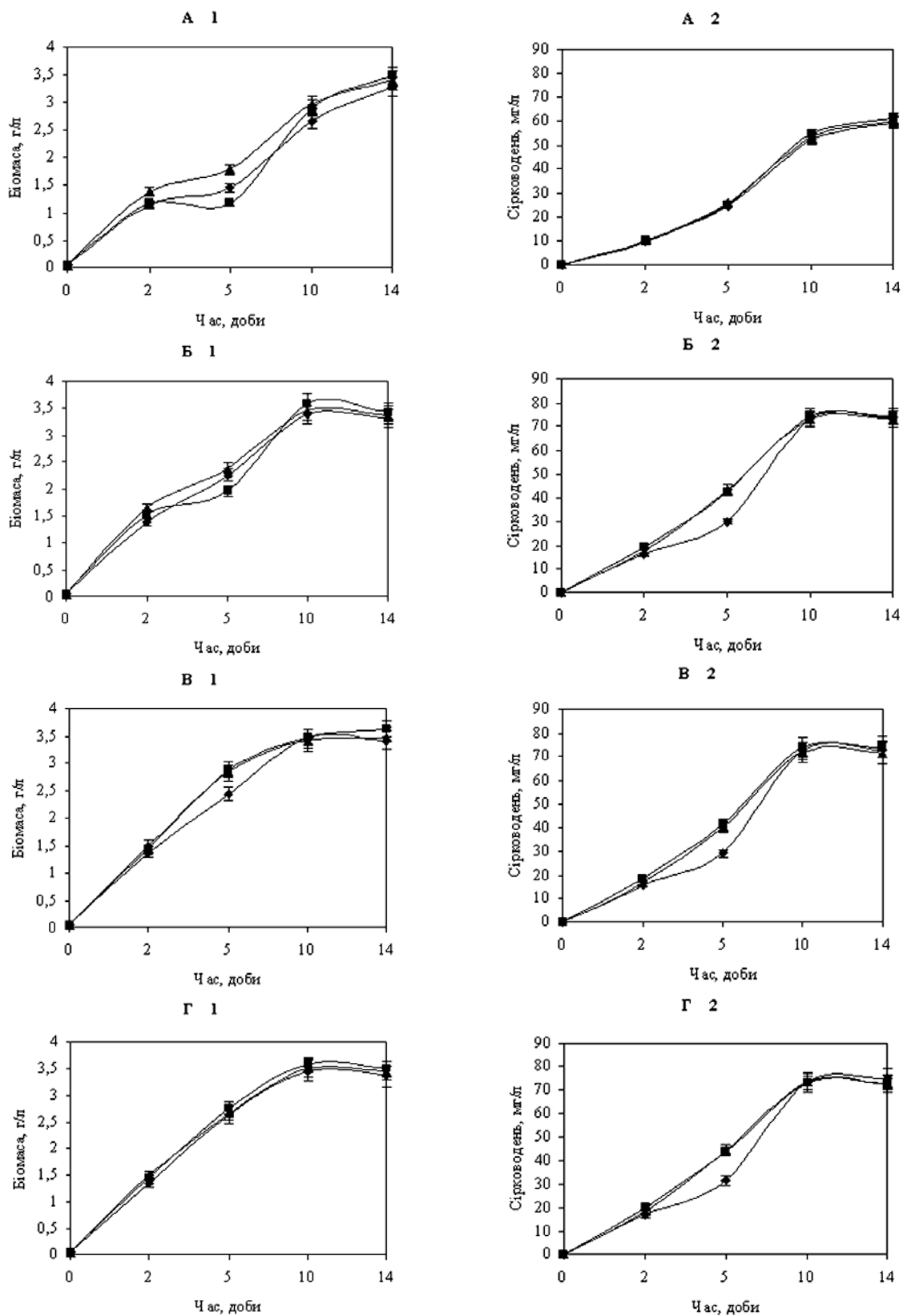


Рис. 2. Вплив різних концентрацій сульфат-іону (А – 0,33 г/л; Б – 0,99 г/л; В – 1,65 г/л; Г – 3,30 г/л) у середовищі Кравцова-Сорокіна на ріст (1) та утворення сірководню (2) культурами сульфатвідновлювальних бактерій: *Yav-6* (◆), *Yav-8* (■), *D. desulfuricans* Ya-11 (▲)

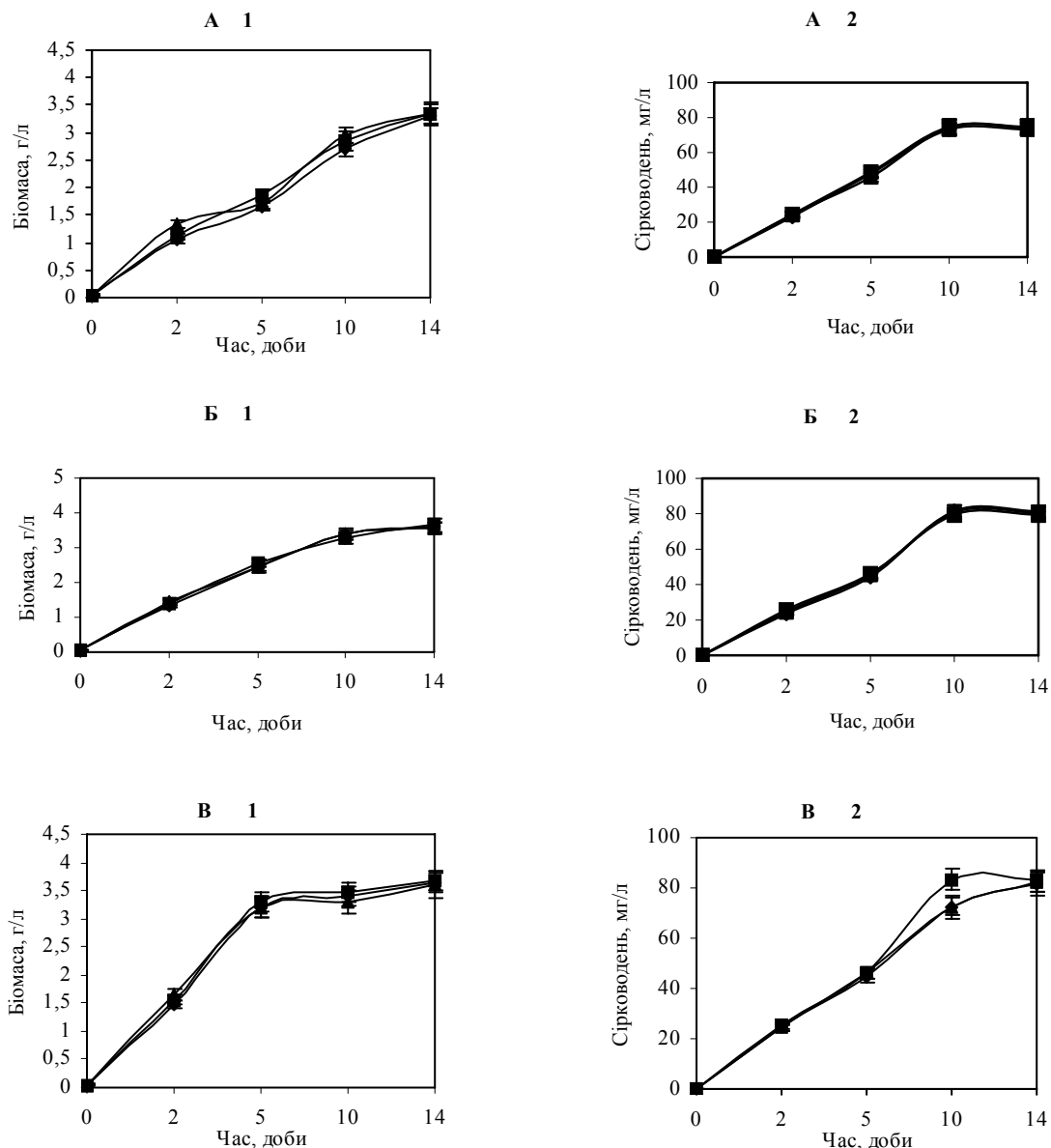


Рис. 3 а. Біомаса (1) та утворення сірководню (2) клітинами культур сульфатвідновлювальних бактерій *Yav-6* (◆), *Yav-8* (■) та *D. desulfuricans Ya-11* (▲) під час росту у середовищі Кравцова-Сорокіна з лактатом натрію у концентраціях 2 (А), 4 (Б), 8 (В) г/л.

У середовищі з 2 г/л лактату натрію на 14 добу росту культура *Yav-8* виявила біомасу $3,35 \pm 0,06$ г/л та вищий, порівняно з культурою *Yav-6*, рівень утворення сірководню – $74,60 \pm 0,25$ мг/л (штам *D. desulfuricans Ya-11* при біомасі $3,34 \pm 0,05$ г/л утворював $74,25 \pm 0,20$ мг/л сірководню). При концентрації лактату натрію 4 г/л у середовищі культивування спостерігали деяке зростання біомаси та стимуляцію утворення клітинами сірководню, культура *Yav-8* при біомасі $3,65 \pm 0,02$ г/л утворювала $79,52 \pm 0,25$ мг/л сірководню. При концентрації лактату натрію 8 г/л у середовищі культивування спостерігали подальше збільшення біомаси та стимуляцію утворення сірководню. Клітини культури *Yav-8* при біомасі $3,68 \pm 0,05$ г/л продукували $82,88 \pm 0,15$ мг/л гідроген сульфід. Найбільша кількість сірководню ($88,30 \pm 0,08$ мг/л) та бі-

омаса ($3,69 \pm 0,02$ г/л) виявлені при культивуванні культури *Yav-8* у середовищі, яке містило 12 г/л лактату натрію. Штам *D. desulfuricans Ya-11* за концентрації лактату натрію 12 г/л у середовищі утворював $87,95 \pm 0,25$ мг/л сірководню при біомасі – $3,65 \pm 0,06$ г/л. Підвищення концентрації лактату натрію до 16 та 20 г/л у середовищі культивування не сприяло збільшенню вмісту сірководню та росту культур сульфатвідновлювальних бактерій.

Таким чином, зростання концентрації акцептора (сульфатів) до 0,99 г/л та донора електронів (лактату натрію) до 12 г/л у середовищі культивування сульфатвідновлювальних бактерій сприяло активізації процесу дисимільційної сульфатредукції. Рівень утворення сірководню зростав незначно, можливо, у зв'язку з інгібуючою дією останнього на метаболізм бактерій.

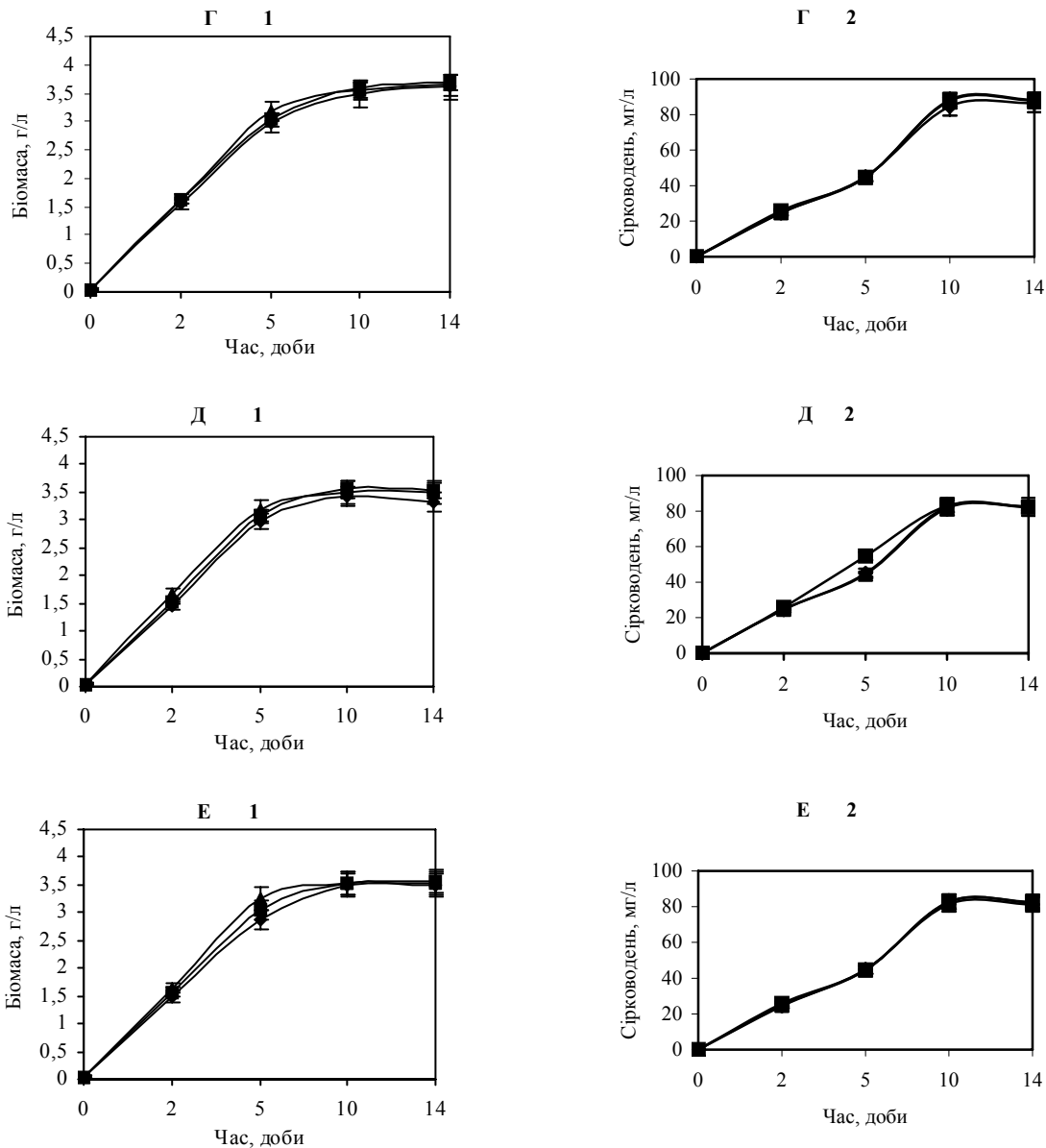


Рис. 3 б. Біомаса (1) та утворення сірководню (2) клітинами культур сульфатвідновлювальних бактерій *Yav-6* (♦), *Yav-8* (■) та *D. desulfuricans* Ya-11 (▲) під час росту у середовищі Кравцова-Сорокіна з лактатом натрію у концентраціях 12 (Г), 16 (Д) та 20 (Е) г/л.

Висновки

Виявлено високу чисельність сульфатвідновлювальних бактерій у глибинній зоні водойми кар'єру Яворівського сіркового родовища: $(1,99 \pm 0,05) \cdot 10^6$ кл./мл. З цієї зони виділено 10 чистих культур сульфатвідновлювальних бактерій роду *Desulfovibrio*. Всі культури, як і контрольні штами *D. desulfuricans* K-45 та Ya-11, активно утворювали сірководень та нагромаджували ацетат під час росту у середовищі Кравцова-Сорокіна.

Найбільшу кількість сірководню бактерії продукували при збільшенні концентрації іонів сульфату у середовищі втричі: культура *Yav-8* за 10 діб утворювала 74,2 мг/л (контроль: 61,50 мг/л) сірководню. Підвищення концентрації лактату натрію у шість разів у середовищі з підвищеним у три рази вмістом сульфатів ще більше стимулювало процес сульфатредукції: культура *Yav-8* за 10 діб утворювала 88,30 мг/л сірководню.

1. Андреюк К. І., Козлова І. П., Коптєва Ж. П. Мікробна корозія підземних споруд. – К.: Наук. думка, 2005. – 260 с.
2. Бабко А. К., П'ятицький І. В. Кількісний аналіз. – К.: Вища школа, 1974. – 352 с.

3. Баран І. М., Подопрігора О. І., Гришук Г. В., Бондар Л. С., Кіт Л. Я., Клим І. Р., Гнатуш С. О., Гудзь С. П. Екологічний моніторинг водойми Яворівського сіркового родовища;

- мікробіологічний контроль // Довкілля та здоров'я. – 2003. – 27, № 4. – С. 56 – 62.
4. Галушка А., Перетятко Т., Гудзь С. П. Бактерії циклу сірки та їхня роль у природі // Вісник Львів. Ун-ту. Серія біологічна. – 2007. – Вип. 43. – С. 61 – 77.
 5. Горленко В. М., Дубинина Г. А., Кузнецов С. И. Экология водных микроорганизмов. – М.: Наука, 1977. – 287 с.
 6. Грабович М. Ю. Участие прокариот в круговороте серы // Соросовский образовательный журнал. – 1999. – № 12. – С. 16 – 20.
 7. Гудзь С., Гнатуш С., Білінська І. Практикум з мікробіології. Ч. 1. Навчальний посібник. – Львів: Видавничий центр ЛНУ імені Івана Франка, 2003. – 80 с.
 8. Деркач М. П., Гумецький Р. Я., Чабан М. Є. Курс варіаційної статистики – К.: Вища школа, 1977. – 208 с.
 9. Каравайко Г. И., Кузнецов С. И., Голомзик А. И. Роль микроорганизмов в выщелачивании металлов из руд. – М.: Наука, 1972. – 215 с.
 10. Кіт Л. Я., Гудзь С. П. Пурпурові сіркобактерії з водойм Яворівського родовища сірки // Мікробіол. журн. – 2007. – Т. 69, № 1. – С. 12 – 19.
 11. Крейков А. Г. Основы аналитической химии. – М.: Мир, 1961. – 636 с.
 12. Кузнецов С. И. Микрофлора озер и ее биохимическая деятельность. М.: Мир, 1972. – 362 с.
 13. Методы общей бактериологии / Под ред. Ф. Герхардта и др.: Пер. с англ. – М.: Мир, 1983. – Т. 1. – 536 с.
 14. Мороз О. М., Колісник Я. І., Подопрігора О. І., Клім І. Р., Гудзь С. П., Борсукевич Б. М., Гнатуш С. О. Мікрофлора води озера “Яворівське” // Науковий вісник Ужгородського ун-ту. Серія біологія. – 2008. – Вип. 24. – С. 131 – 138.
 15. Определитель бактерий Берджи. В 2-х т. Т 2: Пер. с англ. / Под ред. Дж. Хоулта, Н. Крига, П. Снита, Дж. Стейли, С. Уилльямса. – Москва: Мир, 1997. – 368 с.
 16. Перетятко Т. Б., Гнатуш С. О., Гудзь С. П. Сульфатвідновлювальні бактерії водойм Яворівського сіркового родовища // Мікробіол. журн. – 2006. – Т. 68, № 5. – С. 87 – 93.
 17. Родина А. Г. Методы водной микробиологии: Практ. руководство. – Москва, Ленинград: Наука, 1965. – 363 с.
 18. Розанова Е. П., Назина Т. Н. Сульфатвосстанавливающие бактерии (систематика и метаболизм) // Успехи микробиологии. – 1989. – Т. 23. – С. 191 – 226.
 19. Современная микробиология. Прокариоты / Под ред. Й. Ленгелера, Г. Древса, Г. Шлегеля. – Москва: Мир, 2005. – Т. 1. – 654 с.
 20. Теттер Е. З., Шильникова В. К., Переверзева Г. И. Практикум по микробиологии. 3-е изд. – М.: Агропромиздат, 1987. – 239 с.

Отримано: 30 жовтня 2009 р.

Прийнято до друку: 4 лютого 2010 р.