

# ЛЕКЦІЯ № 13

## Участь мікроорганізмів в кругооборотах сірки та заліза

### Сульфатредукція

Сульфатредукція – процес відновлення з'єднань сірки до сірководня. Здійснюється строгими анаеробами – сульфатредуючими бактеріями. Сульфатредукція – сульфатдихання.

Бактерії, що викликають цей процес розподіляються на два роди: неспорують *Desulfovibrio* спорують *Desulfotomaculum*.

Місце існування: лимани, моря, затоплювані ґрунти без доступу кисню.

Рід *Desulfovibrio*: грамнегативні, зігнуті палички або S-видні, такі, що мають полярні джгутики. Облігатні анаероби. Мезофіли – 30 °С. *Desulfovibrio desulfuricans*.

Рід *Desulfotomaculum*: утворюють спори, грамнегативні, прямі або зігнуті, перітрихи. Облігатні анаероби. Мешкають в геотермальних водах, кишечнику комах, рубці жуйних. *D. nigrificans* росте при 55 °С.  $SO_4^{2-} \rightarrow SH$ .  $SO_4^{2-}$  – кінцевий акцептор електронів. Джерело С – сіль молочної кислоти.  $H_2S$  викликає корозію металевого устаткування.  $H_2S$  – загибель рослин (Чорне море).

При окисленні  $H_2S$  сіркобактеріями, з'являються відкладення сірки промислового значення. Беруть участь в утворенні сульфідних руд.

### Бактерії, що окисляють сірку

Чотири групи мікроорганізмів ведуть цей процес:

1) тіонові бактерії (палички, мешкають в ґрунті):

р. *Thiobacillus* (палички, полярні джгутики;  $CO_2$  – джерело С)

р. *Sulfolobus* (термофіли)

р. *Thiomicrospira*

р. *Thiodendron*

2) одноклітинні і багатоклітинні нитчасті, створюють трихоми:

р. *Achromatium*, *Thiobacterium* (форма сферична, овальна, палички або зігнуті, рухомі і нерухомі, місце існування – грязьові водоймища)

р. *Beggiatoa*

р. *Thiothrix*

р. *Thioploca*

} грамнегативні, багато-  
клітинні сірчані бактерії  
 $H_2S \rightarrow S$

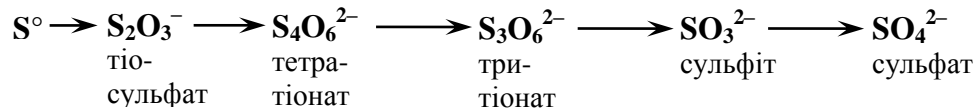
3) фотосинтезуючі пурпурні і зелені сіркобактерії, а також деякі ціанобактерії. Середовище: ставки, морські лагуни, озера.

4) Хемоорганогетеротрофи з родів *Bacillus*, *Pseudomonas*, актиноміцети,

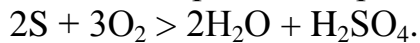
гриби (*Penicillium, Aspergillus*).

Тіонові бактерії: відкриті в 1902 р. Натансоном, виділені з морського мула. 1904 – Беєрінк. Ці бактерії здатні окисляти тіосульфати ( $S_2O_3^{3-}$ ), сірководень ( $H_2S$ ), сульфіди ( $SH$ ), тетратіонати ( $S_4O_6^{2-}$ ), тритіонати ( $S_3O_6^{2-}$ )

Гіпотетичний ланцюг:



Бейєрнік відніс їх до особливого роду – р. *Thiobacillus*: *Th. ferrooxidans*, *Th. thiooxidans*, *Th. thioparus*, *Th. novellas*. *Thiobacillus* – облигатні хемолітоавтотрофи – джерело вуглецю – вуглекислий газ. Не утворюють спор, в клітині є добре розвинена ЦПМ. Рухомі, полярні джгутики. Хід окислювальних процесів, сіркобактеріями, що викликаються (рН=2–3):



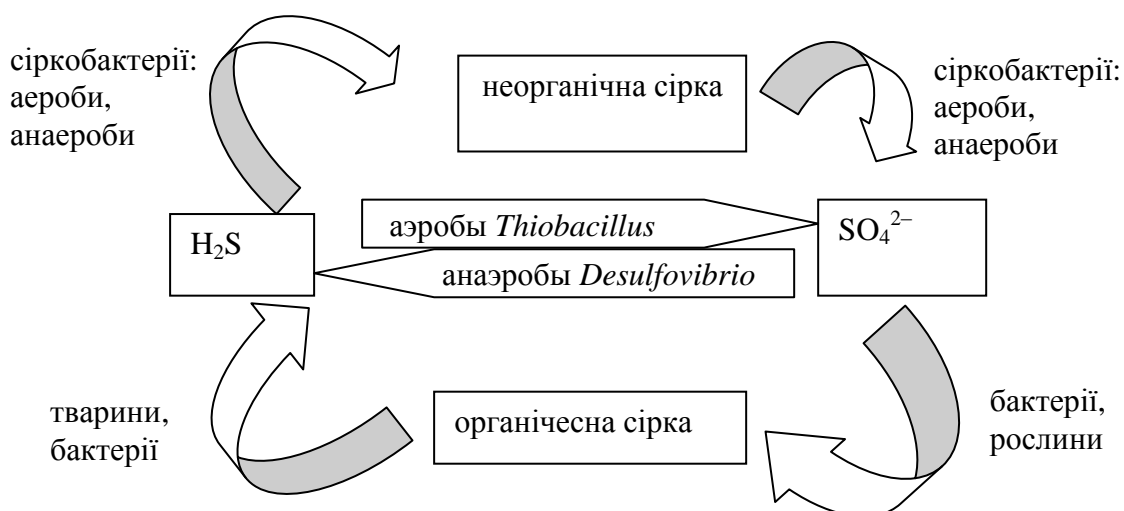
Всі тіонові бактерії, окрім *Th. denitrificans* облигатні аероби. Багатоклітинні, безбарвні сіркобактерії: *Thiothrix*, *Beggiatoa*. Окисляють  $H_2S$  до  $S$ , яка відкладається усередині клітини:  $H_2S + 1/2O_2 \rightarrow S + H_2O$ .

Є бактерії, які ростуть при рН = 2–3 і температурі 70–75°C – *Sulfolobus* – в стінці немає пептидоглікану, а є білково-ліпідний комплекс.



Ці штами дуже стійкі до високих концентрацій  $Cu^{2+}$ ,  $Co^{2+}$ ,  $Zn^{2+}$ ,  $Ni^{2+}$ .

## Круговорот сірки.



Окисляють сірку також пурпурні і зелені сіркобактерії. Живуть в середовищах з H<sub>2</sub>S, в ґрунті великої ролі не грають.

Хемоорганогетеротрофи – *Bacillus*, актиноміцети – також окисляють сірку, але для них це побічний процес. Вони не використовують енергію окислення. Процес окислення йде дуже поволі.

Вилуговування металів з руд, що містять метали і сірку.

Для *Sulfolobus* і *Th. ferrooxidans* показана можливість використовувати енергію для окислення Fe<sup>2+</sup>.

Процес  $H_2S \rightarrow S^0 \rightarrow SO_3^{2-} \rightarrow SO_4^{2-}$  йде з втратою 8 електронів, що поступають в дихальний ланцюг.

Фототрофи окисляють сірку в анаеробних умовах.

## Залізобактерії

В питанні про те, які організми слід відносити до залізобактерій, немає єдиної думки.

С. Н. Виноградський вперше термін «залізобактерії» застосував для позначення організмів, що використовують енергію окислення Fe<sup>2+</sup> → Fe<sup>3+</sup> для асиміляції CO<sub>2</sub>, тобто здатних існувати хемолітоавтотрофно.

Х. Мілош до залізобактерій відносив всі організми, що відкладають навколо клітин оксиди заліза або марганцю незалежно від того, чи зв'язаний цей процес з фізіологічними функціями організму.

В даний час більшість дослідників дотримуються другого погляду.

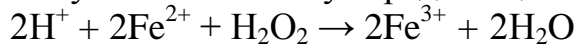
До накопичення навколо клітин заліза і марганцю ведуть різні процеси:

1) Fe і Mn утворюють комплекси з органічними речовинами, які потім використовуються деякими видами залізобактерій, при цьому окисленні Fe і Mn вивільняються і випадають в осад.

2) Концентрація навколо клітин Fe і Mn можливо на основі відмінності

електричних зарядів іонів металів і клітинної поверхні, що має сумарний негативний заряд.

3) Відкладення оксидів Fe і Mn навколо клітин може бути результатом реакції цих іонів з продуктами метаболізму бактерійної клітини, зокрема з  $\text{H}_2\text{O}_2$ , яка виділяється з клітини і накопичується в капсулах або чохлах. У нейтральному і слабокислому середовищі:



Окислення Mn йде у присутності каталази – функція пероксидази:  $\text{Mn}^{2+} + 2\text{H}_2\text{O}_2 \rightarrow \text{MnO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$ . Фізіологічний сенс процесів окислення іонів Fe і Mn за участю перекису водню – детоксикація шкідливого продукту.

4) Існують мікроорганізми, у яких окиснення Fe пов'язано з утворенням енергій:  $4\text{Fe}^{2+} + 4\text{H}^+ + \text{O}_2 \rightarrow 4\text{Fe}^{3+} + 2\text{H}_2\text{O}$ .

*Thiobacillus ferrooxidans* (pH=2,5). Обитає в кислих рудничних водах, що містять пірит ( $\text{FeS}_2$ ) – хемолітоавтотроф.

*Sulfolobus acidocaldarius* – термофил.

*Leptospirillum ferrooxidans* – окисляє тільки залізо, а серу нет.

Також відноситься род *Gallionella*.

Марганець окисляє *Leptothrix discophorus*.

*Thiobacillus ferrooxidans* (pH=2,5). Мешкає в кислих копальневих водах, що містять пірит ( $\text{FeS}_2$ ), – хемолітоавтотроф.

*Sulfolobus acidocaldarius* – термофил.

*Leptospirillum ferrooxidans* – окисляє тільки залізо, а сірку ні.

Також відноситься рід *Gallionella*.

Марганець окисляє *Leptothrix discophorus*.

Вилуговування металів з руд. Здатність ацидофільних бактерій, окисляючи сірку та залізо, перетворювати сульфідів і сірку на водорозчинні сульфати важких металів; використовують для вилуговування бідних руд з метою отримання міді, цинку, нікелю, молібдену, урану. Широко застосовують для отримання металів з відвалів породи. Є спроби здійснювати підземний гірський промисел.

Через руду пропускають воду, насичену киснем і суспензією кліток *Thiobacillus ferrooxidans*, *Th. thiooxidans*. У руді є  $\text{FeS}_2$ ,  $\text{ZnS}$ ,  $\text{PbS}$ ,  $\text{NiS}$ ,  $\text{MoS}_2$ ,  $\text{CoS}$ ,  $\text{CuS}$ . Потім розчин з сульфатами цих металів концентрують і метали осаджують.

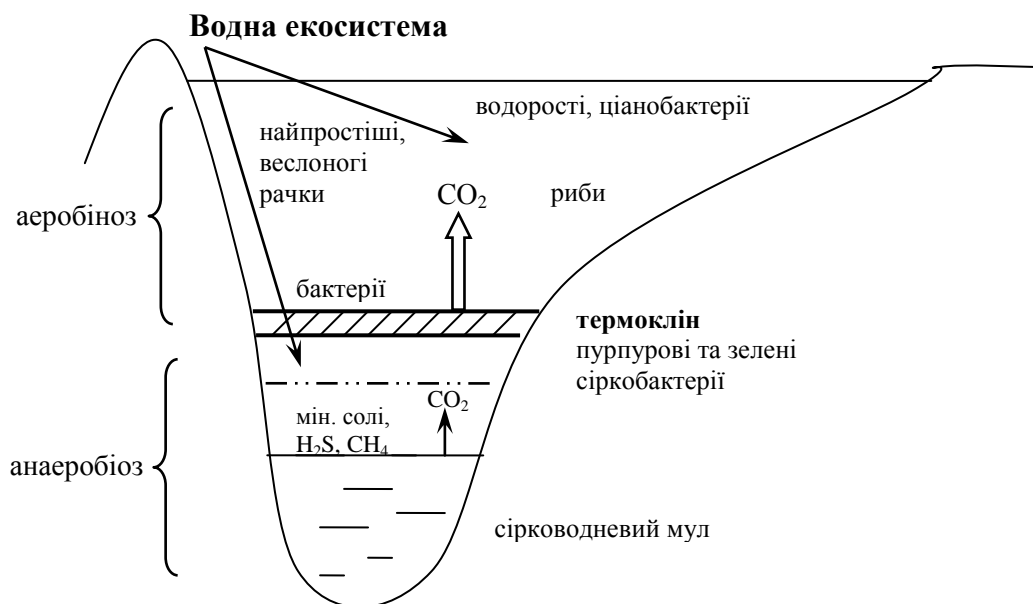
Розчинення сульфідів важких металів відбувається завдяки сумісній дії багатьох процесів:

1) бактерійного окислення відновлених з'єднань сірки, або елементарної сірки до сірчаної кислоти;

2) бактерійного окислення  $\text{Fe}^{2+}$  до  $\text{Fe}^{3+}$ ;

3) хімічного окислення нерозчинних солей важких металів до розчинних сульфатів.

# Водна екосистема



Сірководень як основа бесвітлової екосистеми.

На морських глибинах, де б'ють гарячі джерела (біля 350°C) у воді є сірководень. Там, де ця вода приходить у зіткнення з холодною, такою, що містить кисень, можуть рости бактерії, які окисляють сірку та сірководень. Вони можуть служити їжею для молюсків, ракоподібних і черв'яків.

Один з представників погонофор – *Riftia pachyptia* – пристосований до життя в такому середовищі: у нього немає ротового і анального отворів, але є орган трофосома, в якому як ендосимбіонти ростуть бактерії, які окисляють сірководень. Кров забезпечує їх киснем і сірководнем, оскільки ця система здійснює продукцію біомаси не через фотосинтез, а через хемолітоавтотрофію.

## Метаногени

Група мікроорганізмів, здатних використовувати вуглекислий газ як кінцевий акцептор електронів при окисненні молекулярного водню, – це метаногени.

Припущення про бактерійне походження CH<sub>4</sub> було висловлене в 19 столітті. Проте з'ясування даного питання затягувалося із-за неможливості виділити чисту культуру. Це дозволили зробити методи культивування анаеробів, розроблені Хангейтом:

- 1) принцип видалення кисню з газів;
- 2) попереднє відновлення середовищ.

Метаноутворюючі бактерії – морфологічно дуже різноманітна група, що поєднується двома загальними ознаками:

- 1) строгий анаеробіоз;
- 2) здатність утворювати метан.

Баркер Х. А. (1956 р.) прийняв як домінуючу ознаку утворення  $\text{CH}_4$ . Об'єднав в 3 роди родини *Methanobacillaceae* (так вони дані у визначнику Бергі). Зараз виділяють 7 родів і 10 видів в чистій культурі: *Methanosarcina*, *Methanospirillum*, *Methanobacterium*, *Methanogenium*.

Специфічність групи – в клітинних стінках немає мурамової кислоти і D-аминокислот. Клітинна стінка буває трьох типів:

- 1) пептидоглікан особливої хімічної будови – псевдомуреїн;
- 2) з білкових глобул;
- 3) гетерополісахаридної природи.

Під електронним мікроскопом структура клітинної стінки близька до грампозитивної. Специфічність ліпідів в тому, що вони побудовані з полярних ліпідів і простих ефірів: з гліцерину і  $20\text{C}$  спирту. Немає складних ефірів.

Запасних продуктів у вигляді гранул полі- $\beta$ -оксимасляної кислоти або глікогену не знайдено.

Більшість має температурний оптимум при  $35\text{--}40^\circ\text{C}$ , але є і  $65\text{--}70^\circ\text{C}$  і  $20\text{--}25^\circ\text{C}$ . Всі нейтрофіли:  $\text{pH}=6\text{--}8$ . Як джерело вуглецю більшість використовують вуглекислий газ, деякі формиат, метанол, ацетат.  
 $4\text{H}_2 + \text{CO}_2 \rightarrow \text{CH}_4 + 2\text{H}_2\text{O}$ .