

УДК: 579.22 : 547.79

Відповідь бактерій сульфідогенного природного угруповання та монокультур роду *Desulfovibrio* на дію інгібітора біокорозії з антимікробними властивостями
Н.Р.Демченко, І.М.Курмакова, О.П.Третяк

Чернігівський національний педагогічний університет імені Т.Г.Шевченка (Чернігів, Україна)
nata_demch@ukr.net

Представлено результати дослідження впливу інгібітора з біоцидною дією – четвертинної солі триазолоазепінію – на сульфатвідновлювальні бактерії сульфідогенного природного угруповання, штамів *Desulfovibrio* sp. M-4.1 та *Desulfovibrio* sp. 10 за умов мікробної корозії у рідкому елективному середовищі Постгейта «В». Для природного угруповання встановлено більш значне, порівняно зі штамми, зменшення чисельності клітин сульфатвідновлювальних бактерій у планктоні і біоплівці та пригнічення сульфатвідновлювальної активності. Це забезпечує ступінь захисту сталі до 95,6%, яка з монокультурами *Desulfovibrio* sp. M-4.1 та *Desulfovibrio* sp. 10 становить лише 50,0–60,8 %. Встановлену закономірність щодо підвищеної чутливості бактерій природного угруповання на дію четвертинної солі триазолоазепінію слід враховувати при пошуку та дослідженні перспективних інгібіторів біокорозії.

Ключові слова: сульфатвідновлювальні бактерії, штам *Desulfovibrio* sp. M-4.1 та *Desulfovibrio* sp. 10, четвертинна сіль триазолоазепінію, інгібітор-біоцид, біокорозія.

Ответ бактерий сульфидогенного природного сообщества и монокультур рода *Desulfovibrio* на действие ингибитора биокоррозии с антимикробными свойствами
Н.Р.Демченко, И.Н.Курмакова, А.П.Третяк

Представлены результаты исследования влияния ингибитора с биоцидным действием – четвертичной соли триазолоазепиния – на сульфатвосстанавливающие бактерии сульфидогенного природного сообщества, штаммов *Desulfovibrio* sp. M-4.1 и *Desulfovibrio* sp. 10 в условиях микробной коррозии в жидкой селективной среде Постгейта «В». Для природного сообщества установлено более значительное, в сравнении со штаммами, уменьшение численности клеток сульфатвосстанавливающих бактерий в планктоне и биопленке и угнетение сульфатвосстанавливающей активности. Это обеспечивает степень защиты стали до 95,6%, которая с монокультурами *Desulfovibrio* sp. M-4.1 и *Desulfovibrio* sp. 10 составляет только 50,0–60,8 %. Установленную закономерность относительно повышенной чувствительности бактерий природного сообщества на действие четвертичной соли триазолоазепиния необходимо учитывать в поиске и исследовании перспективных ингибиторов биокоррозии.

Ключевые слова: сульфатвосстанавливающие бактерии, штаммы *Desulfovibrio* sp. M-4.1 и *Desulfovibrio* sp. 10, четвертичная соль триазолоазепиния, ингибитор-биоцид, биокоррозия.

Response of sulfidogenic natural community and bacteria monocultures of genus *Desulfovibrio* to an inhibitor of bio-corrosion with antibacterial properties

N.R.Demchenko, I.N.Kurmakova, A.P.Tretyak

This article deals with the research results of effective bio-corrosion inhibitor with antibacterial properties (quaternary salt of triazoloazepinium) towards bacteria of sulfidogenic natural community and strains *Desulfovibrio* sp. M-4.1 and *Desulfovibrio* sp. 10 in the conditions of microbial corrosion in a liquid selective Postgate's "B" medium. When quaternary salt of triazoloazepinium treatment, in comparison to the *Desulfovibrio* strains in natural community the number of planktonic and biofilm form of sulphate-reducing bacteria decreased to a great extent as well as sulphate-reduction activity was depressed. It provides 95,6% protective effect from biocorrosion of steel, whereas for monocultures *Desulfovibrio* sp. M-4.1 and *Desulfovibrio* sp. 10 it makes only 50,0–60,8 %. The observed hypersensitivity of bacteria of natural community to an action of quaternary salt of triazoloazepinium should be taken into account when studying of perspective bio-corrosion inhibitors.

Key words: sulphate-reducing bacteria, strains *Desulfovibrio* sp. M-4.1 and *Desulfovibrio* sp. 10, quaternary salt of triazoloazepinium, inhibitor-biocide, bio-corrosion.

Вступ

Важливим чинником руйнування металів у ґрунті є мікроорганізми корозійно небезпечних угруповань феросфери. Найчастіше корозію металів пов'язують з життєдіяльністю сульфатвідновлювальних бактерій (Андреюк та ін., 2005). Для ефективного попередження мікробної корозії використовують інгібітори з біоцидними властивостями, які додають до складу захисних ізоляційних матеріалів, зокрема нафтобітумно-сланцевих, нафтобітумно-полімерних та ін. (Середницький та ін., 2005; Козлова та ін., 2008). Нашими дослідженнями встановлено, що четвертинні солі триазолоазепінію виявляють біоцидну дію щодо корозійно активних бактерій та є ефективними інгібіторами біокорозії маловуглецевої сталі, індукованої природним сульфідогенним мікробним угрупованням, до складу якого входять бактерії роду *Desulfovibrio* (Демченко та ін., 2007). Але дія досліджуваних солей триазолоазепінію на монокультури сульфатвідновлювальних бактерій не встановлена. В той же час відомо, що бактерії в угрупованні та у монокультурі по-різному реагують на дію біоцидів (Андреюк та ін., 2005).

У доступних нам літературних джерелах не знайдено інформації щодо дії інгібіторів-біоцидів на природне сульфідогенне угруповання та його складові – монокультури бактерій. Тож, дослідження впливу інгібіторів-біоцидів на життєдіяльність сульфідогенних природних угруповань і монокультур бактерій роду *Desulfovibrio* є актуальним. При цьому важливо дослідження відповіді бактерій у складі біоплівки на поверхні металу та у планктоні за дії інгібітора. Це дозволить з'ясувати їх внесок у агресивність корозійної системи, що важливо для обґрунтованого вирішення проблеми захисту підземних металевих конструкцій від мікробної корозії (Коптева и др., 2004).

Метою роботи було виявити особливості метаболічної та корозійної активностей сульфатвідновлювальних бактерій природного сульфідогенного угруповання та монокультур роду *Desulfovibrio* за умов мікробної корозії у рідкому елективному середовищі Постгейта «В» під впливом четвертинної солі триазолоазепінію – інгібітора з біоцидними властивостями.

Об'єкти та методи дослідження

Об'єктами дослідження були сульфідогенне природне угруповання та сульфатвідновлювальні бактерії штаму *Desulfovibrio* sp. M-4.1 і штаму *Desulfovibrio* sp. 10. Відповідь на дію четвертинної солі триазолоазепінію (ЧСТА) оцінювали за зміною чисельності бактерій у біоплівці та планктоні, сульфатвідновлювальної активності та корозійної агресивності. В якості контролю використовували середовище без додавання інгібітора-біоциду.

Сульфідогенне природне угруповання було виділено нами із феросфери піщаного ґрунту, прилегло до газопроводу, який прокладено у Чернігівській області (с. Малейки). Його склад визначали методом граничних розведень при висіві ґрунтової суспензії на відповідні рідкі елективні середовища: сульфатвідновлювальні бактерії (СВБ) – Постгейта «В», залізовідновлювальні бактерії (ЗВБ) – Каліненка, денітрифікувальні бактерії (ДНБ) – Гільтая, амоніфікувальні бактерії (АМБ) – м'ясо-пептонний бульйон (Романенко, Кузнецов, 1974). Чисельність компонентів угруповання визначена за таблицями Мак-Креді і становила: сульфатвідновлювальні бактерії – 10^6 кл/мл; денітрифікувальні – 10^4 кл/мл; залізовідновлювальні – 10^5 кл/мл та амоніфікувальні – 10^5 кл/мл.

Штам *Desulfovibrio* sp. M-4.1 виділено нами із сульфідогенного природного угруповання та ідентифіковано молекулярно-біологічними методами (Демченко та ін., 2013).

Колекційний штам *Desulfovibrio* sp. 10 було виділено із зразків продуктів корозії сталльної арматури Дніпрогесу (м. Запоріжжя) співробітниками відділу загальної і ґрунтової мікробіології інституту мікробіології і вірусології ім. Д.К.Заболотного НАН України та надано для дослідження як тест-мікроорганізм для порівняння перебігу процесу мікробної корозії в лабораторних умовах.

Біоплівку з металевої поверхні знімали у фіксований об'єм 0,1 н фосфатного буфера (рН 7,0) за допомогою ультразвуку на приладі УЗМ-003/н за частоти 22 кГц (30 с) двічі з інтервалом 60 с. Суспензію використовували для визначення чисельності адгезованих клітин СВБ. Концентрацію біогенного сірководню визначали методом йодометричного титрування (Васильєв, 1989).

Тип інгібування росту бактерій ЧСТА визначали графічним методом Лайнуівера–Берка (Перт, 1978). Розрахунки за графічними залежностями проводили за допомогою програми Microsoft Excel (кореляційний аналіз).

Біоцидні властивості четвертинної солі триазолоазепінію визначали диско-дифузійним методом за допомогою стерильних паперових дисків (діаметр 6 мм), просочених 0,1%, 0,2% та 2,0% спиртовими розчинами досліджуваної солі, які розміщували на поверхні відповідних агаризованих

поживних середовищ, інокульованих (10^6 – 10^7 кл/мл) суспензією корозійно активних бактерій (Егоров, 1986). Використовували накопичувальні культури сульфатвідновлювальних, залізовідновлювальних, денітрифікувальних та амоніфікувальних бактерій. За діаметром зони затримки росту бактерій визначали їхню чутливість до біоциду.

Корозійну агресивність бактерій оцінювали за їх впливом на швидкість корозії сталевих зразків, яку визначали гравіметричним методом (Коррозия, 1989). Дослідження проводили в герметичних скляних ємностях об'ємом 100 мл, заповнених середовищем Постгейта «В» та інокульованих відповідною культурою бактерій. Використану культуру бактерій стандартизували прямим підрахунком числа клітин.

В дослідженнях використовували зразки конструкційної маловуглецевої сталі марки СтЗпс (площа поверхні 24 см²) виробництва підприємства «Криворіжсталь», підготовлені загальноприйнятим методом (Коррозия, 1989). Вміст елементів в сталі (% за масою): Fe – 98,876; C – 0,190; Mn – 0,540; Si – 0,070; Ni – 0,010; S – 0,038; P – 0,007; Cr – 0,020; N – 0,007; Cu – 0,02; As – 0,004; Ti – 0,002; B – 0,0006; Al – 0,005. Сталь СтЗпс зазвичай використовують для виготовлення зварних, безшовних конструкцій та деталей, які працюють за позитивних температур.

В якості інгібітора-біоциду використовували синтезовану нами четвертинну сіль триазолоазепінію, яка містить *пара*-хлорофенацильний та *пара*-метоксианіліновий фрагменти за першим та третім положенням гетероциклічної системи відповідно (Демченко та ін., 2007). Будова сполуки підтверджена методами ЯМР ¹H-спектроскопії (Bruker-300) та хроматомас-спектрометричним аналізом (LC/MSD, прилад серії Agilent 1200 (США)). Концентрація ЧСТА становила 0,01%. Культивування проводили при температурі 28±2°C впродовж 7 та 14 діб. Зразки обробляли механічно та хімічно з метою видалення продуктів корозії з їх поверхні.

За втратою маси зразків розраховували швидкість корозії (K_m , г/(м²×год)), коефіцієнт гальмування корозійного процесу (γ_m) та ступінь захисту ($Z_m\%$) за формулами:

$$K_m = \Delta m / (S \cdot t); \gamma_m = K_m / K_m'; Z_m = (1 - 1/\gamma_m) \times 100\% \text{ (Пуриш и др., 2002),}$$

де Δm – втрата маси зразка (г), S – площа поверхні зразка (м²), t – час експозиції (год), K_m та K_m' – швидкість корозії без та з четвертинною сіллю триазолоазепінію відповідно.

Статистичне опрацювання даних щодо швидкості корозії (середнє значення та його похибка) здійснювали за допомогою пакету «Описова статистика» програми Microsoft Excel для рівня надійності 95%. Відносна похибка не перевищує 10%. Повторність дослідів триазова.

Результати та їх обговорення

Результати проведених досліджень показали, що як у природному сульфідогенному угрупованні, так і в монокультурах сульфатвідновлювальні бактерії планктонної форми відповідають зменшенням чисельності на дію інгібітора з антимікробними властивостями (рис. 1).

На сьому добу за дії четвертинної солі триазолоазепінію спостерігається зменшення чисельності бактерій в угрупованні і монокультурах на рівні 1–4 порядків, на 14 добу – на 3–5 порядків порівняно з контролем. Пригнічення росту СВБ природного угруповання є більш виразним, ніж у штамів *Desulfovibrio* sp. M-4.1 та *Desulfovibrio* sp. 10: на сьому добу чисельність бактерій природного угруповання у планктоні на 4 порядки менша порівняно з контролем, на 14 добу – на 5 порядків.

Пригнічення розвитку бактерій інгібітором-біоцидом у природному угрупованні та монокультурах відбувається по-різному. Так, значне зменшення чисельності планктонних форм сульфатвідновлювальних бактерій у природному угрупованні відбувається вже на сьому добу та незначно зменшується до чотирнадцятої. Бактерії планктону штамів *Desulfovibrio* sp. M-4.1 та *Desulfovibrio* sp. 10 проявляють більшу резистентність до біоцидної дії інгібітора (сім діб), яка з часом знижується. При цьому їх чисельність не досягає значення, характерного для природного угруповання на 14 добу.

Дослідження чисельності СВБ у біоплівці – місці активного перебігу процесів біокорозії – показало, що бактерії сульфідогенного угруповання також більш чутливі до дії четвертинної солі триазолоазепінію, як і планктонна форма (рис. 2). На 7 добу чисельність СВБ у складі сульфідогенного угруповання на 3 порядки менша порівняно з контролем. Кількість клітин штаму *Desulfovibrio* sp. M-4.1 та штаму *Desulfovibrio* sp. 10 зменшується лише на порядок. З часом (14 діб) ступінь пригнічення чисельності адгезованих клітин сульфатвідновлювальних бактерій четвертинною сіллю триазолоазепінію збільшується майже однаково як для природного угруповання, так і монокультур *Desulfovibrio* sp. M-4.1 та *Desulfovibrio* sp. 10 (на 4–5 порядків).

Таким чином, спостерігається більша дія ЧСТА на сульфатвідновлювальні бактерії планктонної форми порівняно з біоплівкою. При цьому сульфідогенне природне угруповання є більш чутливим до дії інгібітора – біоциду як на рівні бактеріальних клітин планктону, так і у складі біоплівки.

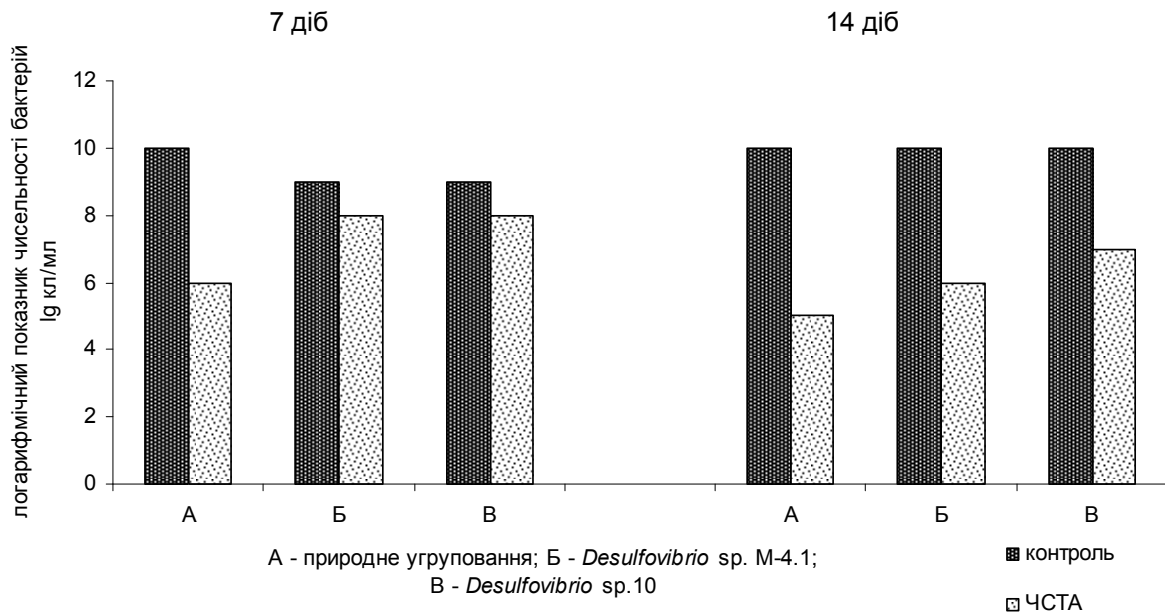


Рис. 1. Зміна чисельності сульфатвідновлювальних бактерій у планктоні за дії четвертинної солі триазолоазепінію (концентрація ЧСТА 0,01%)

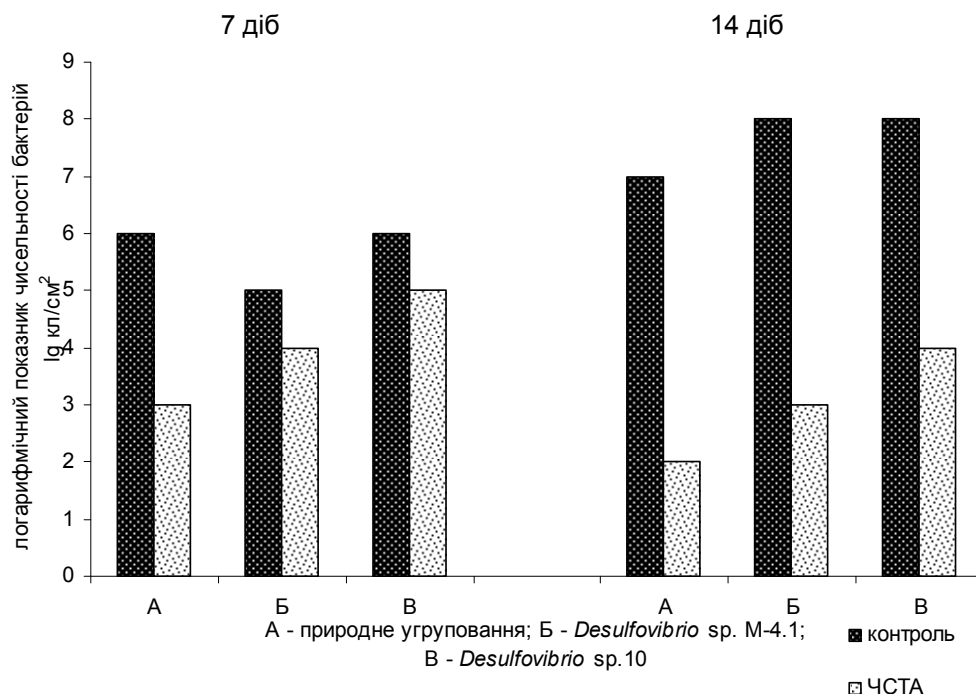


Рис. 2. Зміна чисельності сульфатвідновлювальних бактерій у біоплівці за дії четвертинної солі триазолоазепінію (концентрація ЧСТА 0,01%)

Різницю в пригнічуючому ефекті ЧСТА можна пояснити його антимікробною дією (Демченко та ін., 2007) по відношенню до бактерій природного угруповання, яке, крім сульфатвідновлювальних бактерій, містить асоціанти: залізовідновлювальні, денітрифікувальні та амоніфікувальні бактерії. Чутливість ЗВБ, ДНБ та АМБ до четвертинної солі триазолоазепінію дещо менша ніж для СВБ (рис. 3, рис. 4). Відомо, що токсичні концентрації біоцидів для різних видів і штамів бактерій можуть розрізнятися в декілька разів. В дослідженому природному сульфідогенному угрупованні більш чутливими до дії ЧСТА є сульфатвідновлювальні бактерії, а найбільш стійкими – амоніфікувальні (рис. 3). Пригнічення розвитку асоціантів призводить до порушення цілісності системи природного сульфідогенного угруповання, що відзначається на метаболічній активності угруповання і його корозійній агресивності. Тому для оцінки впливу інгібітора з біоцидною дією наряду з контролем чисельності бактерій важливим є визначення їх сульфатвідновлювальної активності, яка визначає агресивність корозійного середовища і швидкість мікробної корозії металу.

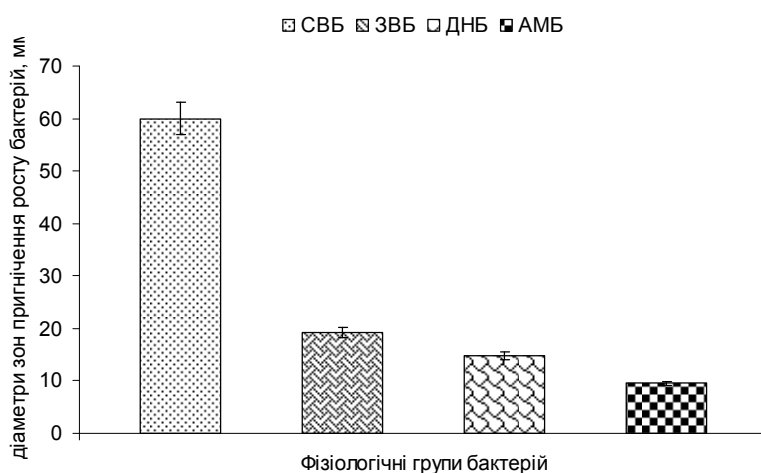


Рис. 3. Антимікробна дія ЧСТА на компоненти сульфідогенного угруповання (концентрація ЧСТА 2,0%)

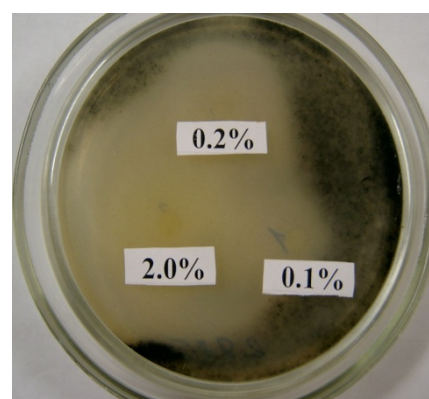


Рис. 4. Біоцидна дія ЧСТА на СВБ

Порівняння сульфатвідновлювальної активності природного угруповання та штамів *Desulfovibrio* sp. M-4.1 і *Desulfovibrio* sp. 10 вказує на їх корозійну агресивність, що зумовлює високу швидкість кородування сталевих зразків в середовищі Постгейта «В», яка з часом дещо зростає за рахунок збільшення концентрації сірководню (табл. 1). Концентрація H_2S в середовищі з природним угрупованням за час експерименту зростає на 40%, а для монокультур *Desulfovibrio* sp. M-4.1 і *Desulfovibrio* sp. 10 на 30% та 10% відповідно. Це вказує на те, що агресивність середовища при наявності природного угруповання збільшується не лише за рахунок функціонування сульфатвідновлювальних бактерій, а й асоціантів, здатних до продукування сірководню (Пуріш та ін., 2011).

Четвертинна сіль триазолоазепінію пригнічує сульфатвідновлювальну активність бактерій природного угруповання: концентрація сірководню у середовищі зменшується в 1,1 та 1,4 рази на 7 та 14 добу культивування відповідно. При цьому з часом зменшується і швидкість продукування сірководню в 1,4 рази. Це узгоджується з обговореними вище результатами щодо впливу ЧСТА на чисельність бактерій (рис. 1 та рис. 2). Концентрація біогенного сірководню в корозійному середовищі з монокультурами *Desulfovibrio* sp. M-4.1 та *Desulfovibrio* sp. 10 за дії ЧСТА підвищується порівняно з контролем у 1,5 разів на сьому добу.

При зменшенні чисельності бактерій (рис. 1 та рис. 2) відбувається суттєве зростання сульфатвідновлювальної активності, що може бути стрес-відповіддю на дію біоциду. При збільшенні часу експерименту (14 діб) сульфатвідновлювальна активність зменшується і стає нижче, ніж у контролі (в 1,3 рази). Можна вважати, що для СВБ у складі природного угруповання стрес-відповідь через збільшення продукування сірководню на дію ЧСТА не виражена.

Таблиця 1.

Сульфатвідновлювальна та корозійна активності бактерій сульфідогенного мікробного угруповання та штамів *Desulfovibrio* sp. M-4.1 і *Desulfovibrio* sp. 10 за дії четвертинної солі триазолоазепінію (концентрація 0,01%)

Культура бактерій	7 діб				14 діб			
	Вміст H ₂ S, мг/л		K _m ×10 ⁻³ , г/(м ² ×год)		Вміст H ₂ S, мг/л		K _m ×10 ⁻³ , г/(м ² ×год)	
	Без ЧСТА	За дії ЧСТА	Без ЧСТА	За дії ЧСТА	Без ЧСТА	За дії ЧСТА	Без ЧСТА	За дії ЧСТА
Природне угруповання	170±15	149±13	37,3±2,1	7,4±0,5	238±18	170±14	41,3±2,4	1,8±0,12
<i>Desulfovibrio</i> sp. M-4.1	141±12	208±14	42,1±2,6	16,5±1,2	186±15	147±13	46,2±2,8	20,3±1,4
<i>Desulfovibrio</i> sp. 10	193±17	283±20	40,0±2,5	22,0±1,5	216±16	160±15	50,1±3,1	25,0±1,6

Методом Лайнуівера-Берка нами визначено неконкурентний тип інгібування росту бактерій штамів *Desulfovibrio* sp. M-4.1 та *Desulfovibrio* sp.10, як і для СВБ у складі природного угруповання (Демченко та ін., 2007). Таким чином, нами з'ясовано, що сульфатвідновлювальні бактерії сульфідогенного природного угруповання і штамів *Desulfovibrio* sp. M-4.1 та *Desulfovibrio* sp. 10 по-різному реагують на дію четвертинної солі триазолоазепінію, що обумовлено різним ступенем прояву стрес-відповіді бактерій та компонентів угруповання.

Саме такий тип інгібування росту бактерій надає перевагу інгібіторам-біоцидам в практиці захисту металів, оскільки не потребує внесення великої кількості інгібітора. Інгібітор не конкурує з субстратом, може утворювати комплекси з субстратом і молекулою білка, крім того, екранувати його активні ділянки (Мецлер, 1980). Досліджений інгібітор не здатен проникати до клітини (показник ліпофільності $IgP=7,14$), тому його взаємодія з позаклітинною частиною трансмембранних білків може пригнічувати ріст бактерій.

Дія інгібітора-біоциду на метаболічну активність бактерій змінює корозійну агресивність середовища. Так, у середовищі з природним угрупованням ЧСТА забезпечує зниження швидкості корозії у 5 разів (7 діб), що відповідає ступеню захисту 80,0%. З часом (14 діб) ступінь захисту зростає до 95,6%. Встановлено, що у середовищі Постгейта «В» з монокультурами *Desulfovibrio* sp. M-4.1 та *Desulfovibrio* sp. 10 захисна дія ЧСТА значно нижча і становить 50,0–60,8 %. Це узгоджується з характером впливу ЧСТА на метаболічну активність бактерій. Стрес-відповідь монокультур бактерій призводить до підвищення агресивності середовища (збільшення концентрації сірководню) і стимулювання процесу біокорозії металу. Це слід враховувати під час пошуку нових ефективних інгібіторів-біоцидів.

Таким чином, урахування фізіолого-біохімічних особливостей сульфатвідновлювальних бактерій дозволяє прогнозувати їх внесок у процес мікробної корозії за дії інгібітора-біоциду.

Висновки

1. Встановлено більший пригнічуючий ефект ЧСТА на бактерії планктонної форми сульфатвідновлювальних бактерій порівняно з біоплівкою. Бактерії сульфідогенного природного угруповання більш чутливі до дії інгібітора-біоциду як на рівні клітин планктону, так і у складі біоплівки.

2. Сульфатвідновлювальні бактерії сульфідогенного природного угруповання і штамів *Desulfovibrio* sp. M-4.1 та *Desulfovibrio* sp. 10 по-різному реагують на дію четвертинної солі триазолоазепінію, що обумовлено різним ступенем прояву стрес-відповіді бактерій та компонентів угруповання.

Список літератури

Андреюк К.І., Козлова І.П., Коптєва Ж.П. та ін. Мікробна корозія підземних споруд. – К.: Наук. думка, 2005. – 258с. /Andreyuk K.I., Kozlova I.P., Kopteyeva Zh.P. ta in. Mikrobna koroziya pidzemnykh sporud. – K.: Nauk. dumka, 2005. – 258s./

- Васильев В.П. Аналитическая химия: в 2-х ч. Ч. 1. Гравиметрические и титриметрические методы анализа. – М.: Высш. шк., 1989. – 319с. /Vasil'yev V.P. Analiticheskaya khimiya: v 2-kh ch. Ch. 1. Gravimetricheskiye i titrimetricheskiye metody analiza. – М.: Vyssh. shk., 1989. – 319s./
- Демченко Н.Р., Курмакова І.М., Третяк О.П. Біоцидна дія четвертинних триазолоазепінієвих солей на корозійно небезпечні мікробні угруповання // Науковий вісник Ужгородського університету. Сер: біологія. – 2007. – Вип.20. – С. 18–21. /Demchenko N.R., Kurmakova I.N., Tretyak O.P. Biotsydna diya chetvertynnykh tryazoloazepiniyevykh soley na koroziiyno nebezpechni microbni ugrupovannya // Naukovyy visnyk Uzhgorodsk'ogo universytetu. Ser: biologiya. – 2007. – Vyp 20. – S. 18–21./
- Демченко Н.Р., Курмакова І.М., Третяк О.П. Особливості корозійно активного мікробного угруповання феросфери газопроводу, прокладеного у піщаному ґрунті // Мікробіологія і біотехнологія. – 2013. – №4 (24). – С. 90–98. /Demchenko N.R., Kurmakova I.N., Tretyak O.P. Osoblyvosti koroziiyno aktyvnogo mikrobnogo ugrupovannya ferofsfery gazoprovodu, prokladenogo u pishchanomu grunti // Mikrobiologiya i biotekhnologiya. – 2013. – №4 (24). – S. 90–98./
- Егоров Н.С. Основы учения об антибиотиках. – М.: Высш. шк., 1986. – 447с. /Yegorov N.S. Osnovy ucheniya ob antibiotikakh. – М.: Vyssh. shk., 1986. – 447s./
- Козлова І.П., Радченко О.С., Степура Л.Г. та ін. Геохімічна діяльність мікроорганізмів та її прикладні аспекти. – К.: Наук. думка, 2008. – 528с. /Kozlova I.P., Radchenko O.S., Stepura L.G. ta in. Geokhimichna diyalnist' mikroorganizmiv ta yiyi prykladni aspekty. – К.: Nauk. dumka, 2008. – 528s./
- Коптева Ж.П., Занина В.В., Пуриш Л.М. Микрофлора поврежденных железобетонных конструкций в условиях ингибиторной защиты // Микробиол. журн. – 2004. – Т.66, №5. – С. 68–75. /Kopteva Zh.P., Zanina V.V., Purish L.M. Mikroflora povrezhdennykh zhelezobetonnykh konstruksiy v usloviyakh ingibitornoy zashchity // Mikrobiol. zhurn. – 2004. – T. 66, №5. – S. 68–75./
- Коррозия: Справочное издание / Под ред. Л.Л.Шрайера. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 1989. – 509с. /Korroziya: Sprav. izdaniye. / Pod red. L.L.Shrayyera. – М.: Izd. Mosk. un-ta, 1989. – 509s./
- Мецлер Д. Биохимия. Химические реакции в живой клетке. Т.2. – М.: Мир, 1980. – 608с. /Metsler D. Biokhimiya. Khimicheskiye reaktsii v zhivoy kletke. T.2. – М.: Mir, 1980. – 608s./
- Перт С.Дж. Основы культивирования микроорганизмов и клеток. – М.: Мир, 1978. – 33с. /Pert S.Dzh. Osnovy kultivirovaniya mikroorganizmov i kletok. – М.: Mir, 1978. – 33s./
- Пуриш Л.М., Погребова І.С., Козлова І.А. Влияние сульфатредуцирующих бактерий на коррозию стали в присутствии ингибиторов // Микробиол. журн. – 2002. – Т.64, №6. – С. 67–72. /Purish L.M., Pogrebova I.S., Kozlova I.P. Vliyaniye sulfatredutsiryuyushchikh bakteriy na korroziyu stali v prisutstviі ingibitorov // Mikrobiol. zhurn. – 2002. – T. 64, №6. – S. 67–72./
- Пуриш Л.М., Асауленко Л.Г., Абдуліна Д.Р. та ін. Роль екзополімерного комплексу корозійно-агресивних бактерій у формуванні біоплівки на поверхні сталі // Микробиол. журн. – 2011. – Т.73, №1. – С. 3–9. /Purish L.M., Asaulenko L.G., Abdulina D.R. ta in. Rol' ekzopolimernogo kompleksu koroziiyno-agresyvnnykh bakteriy u formuvanni bioplivky na poverkhni stali // Mikrobiol. zhurn. – 2011. – T.73, №1. – S. 3–9./
- Романенко В.І., Кузнецов С.І. Экология микроорганизмов пресных водоемов. – Ленинград: Наука, 1974. – 196с. /Romanenko V.I., Kuznetsov S.I. Ekologiya mikroorganizmov presnykh vodoyemov. – Leningrad: Nauka, 1974. – 196s./
- Середницький Я., Банахевич Ю., Драгілев А. Сучасна протикорозійна ізоляція в трубопроводному транспорті (3-тя частина). – Львів-Київ: ТЗОВ «Сплайн», 2005. – 288с. /Serednytskyy Ya., Banakhevych Yu., Dragilyev A. Suchasna protykoroziiyna izolyatsiya v truboprovidnomu transporti (3-tya chastyna) – Lviv-Kyyiv; TzOV "Splayn", 2005. – 288s./

Представлено: О.В.Надкернична / Presented by: O.V.Nadkernychna

Рецензент: А.М.Самойлов / Reviewer: A.M.Samoylov

Подано до редакції / Received: 20.03.2015