

UDC 620.193.8:547.831:669.14

DOI: 10.58407/bht.2.26.9



Copyright (c) 2026 Nataliia Demchenko, Svitlana Tkachenko

Ця робота ліцензується відповідно до [Creative Commons Attribution 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/) / This work is licensed under a [Creative Commons Attribution 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

Наталія Демченко, Світлана Ткаченко

АНТИМІКРОБНА ТА АНТИКОРОЗІЙНА АКТИВНОСТІ ЧЕТВЕРТИННИХ СОЛЕЙ ХІНОЛІНІЮ ТА ІМІДАЗО[1,2-а]ХІНОЛІНІЮ



Nataliia Demchenko, Svitlana Tkachenko

ANTIMICROBIAL AND ANTICORROSIVE ACTIVITIES OF QUATERNARY QUINOLINIUM AND IMIDAZO[1,2-a] QUINOLINIUM SALTS

АНОТАЦІЯ

Мета роботи. Дослідити антимікробну та антикорозійну активності четвертинних солей хінолінію та імідазо[1,2-а]хінолінію за умов мікробної корозії сталі, індукованої сульфатвідновлювальними бактеріями *Desulfovibrio* sp.

Методологія. Проведено експериментальне вивчення антимікробної та антикорозійної активностей четвертинних солей хінолінію та імідазо[1,2-а]хінолінію загальноприйнятими мікробіологічними та корозійними методами. Визначено біоцидну активність похідних бромідів хінолінію та імідазохінолінію щодо штаму *Desulfovibrio* sp. M-4.1. Досліджено інгібіторні властивості четвертинних солей імідазо[1,2-а]хінолінію за умов мікробної корозії сталі. Антимікробну та антикорозійну активності оцінено із врахуванням будови молекул четвертинних солей.

Наукова новизна. Вперше проведено порівняльне дослідження антимікробних властивостей похідних ряду бромідів хінолінію та імідазо[1,2-а]хінолінію. Природа та положення замісників у фенільному фрагменті молекул досліджених гетероциклічних систем суттєво впливають на їхню антибактеріальну дію. Встановлено, що анелювання імідазольного кільця до хінолінового ядра суттєво посилює антимікробну та антикорозійну активності сполук. Четвертинні солі імідазо[1,2-а]хінолінію проявляють одночасно біоцидну та захисну дії за умов мікробної корозії сталі.

Висновки. Четвертинні солі хінолінію та імідазо[1,2-а]хінолінію виявляють антимікробну активність щодо сульфатвідновлювальних бактерій *Desulfovibrio* sp. Біоцидна дія солей хінолінію визначається електронною природою замісника у фенацильному фрагменті: введення електроноакцепторних груп підвищує пригнічення бактерій. Анелювання імідазольного кільця до хінолінового ядра (четвертинні солі імідазо[1,2-а]хінолінію) призводить до посилення антимікробної дії. Четвертинні солі імідазохінолінію проявляють високу антикорозійну активність (захисний ефект становить до 92,4 %). Це дозволяє рекомендувати речовини цього ряду як високоефективні інгібітори з біоцидною дією для захисту сталі від мікробної корозії.

Ключові слова: сульфатвідновлювальні бактерії, штам *Desulfovibrio* sp. M-4.1, четвертинні солі хінолінію та імідазохінолінію, мікробна корозія сталі

ABSTRACT

Purpose of the work. The aim of this study was to investigate the antimicrobial and anticorrosive activities of quaternary quinolinium and imidazo[1,2-a]quinolinium salts under conditions of microbial steel corrosion induced by sulfate-reducing bacteria *Desulfovibrio* sp.

Methodology. An experimental study of the antimicrobial and anticorrosive activities of quaternary quinolinium and imidazo[1,2-a]quinolinium salts was performed using conventional microbiological and corrosion methods. The biocidal activity of quinolinium and imidazoquinolinium bromide derivatives against strain *Desulfovibrio* sp. M-4.1 was determined. Furthermore, the inhibitory properties of quaternary imidazo[1,2-a]quinolinium salts under conditions of microbial steel corrosion were investigated. The antimicrobial and anticorrosive activities were evaluated taking into account the molecular structure of the quaternary salts.

Scientific novelty. A comparative study of the antimicrobial properties of a series of quinolinium and imidazo[1,2-a]quinolinium bromide derivatives has been conducted for the first time. The nature and position of the substituents in the phenyl fragment of the molecules of the studied heterocyclic systems significantly affect their antibacterial activity. It has been established

that the annulation of the imidazole ring to the quinoline nucleus significantly enhances the antimicrobial and anticorrosive activity of the compounds. Quaternary imidazo[1,2-a]quinolinium salts exhibit simultaneous biocidal and inhibitory effects under conditions of microbial corrosion of steel.

Conclusions. Quaternary quinolinium and imidazo[1,2-a]quinolinium salts exhibit antimicrobial activity against sulfate-reducing bacteria *Desulfovibrio* sp. The biocidal effect of quinolinium salts is determined by the electronic nature of the substituent in the phenacyl fragment: the introduction of electron-withdrawing groups increases the inhibition of bacteria. Annulation of the imidazole ring to the quinoline nucleus (quaternary imidazo[1,2-a]quinolinium salts) leads to enhanced antimicrobial activity. Quaternary imidazoquinolinium salts exhibit high anticorrosive activity (protective effect is up to 92.4 %). This allows recommending the substances of this series as highly effective inhibitors with biocidal action for protecting steel from microbial corrosion.

Key words: sulfate-reducing bacteria, strain *Desulfovibrio* sp. M-4.1, quaternary quinolinium and imidazoquinolinium salts, microbial corrosion of steel

Вступ

Проблема корозії металевих конструкцій залишається актуальною для багатьох галузей промисловості, зокрема нафтогазової, енергетичної, хімічної та будівельної. Значну частину економічних втрат спричиняє мікробна корозія, індукована сульфатвідновлювальними бактеріями, де ключову роль у руйнуванні металу відіграє сформована на його поверхні біоплівка. Саме тут мікроорганізми формують локальне мікросередовище та можуть впливати на електрохімічні реакції як через метаболіти, так і через механізми електронного обміну між мікроорганізмами та металом (Enning & Garrelfs, 2014; Wang et al., 2020; Khan et al., 2022; Liu et al., 2024).

Традиційні підходи до захисту металів від мікробної корозії базуються на застосуванні промислових інгібіторів-біоцидів (Purish et al., 2021; Shi et al., 2023; Koerdt et al., 2026). Проте більшість із них мають суттєві недоліки: високу токсичність для довкілля, швидке формування резистентності у мікроорганізмів та недостатню здатність проникати крізь захисний екзополісахаридний матрикс біоплівок. У зв'язку з цим актуальним завданням антикорозійного захисту є пошук високоефективних, малотоксичних та багатофункціональних інгібіторів, які здатні одночасно проявляти біоцидні та інгібіторні властивості.

Серед великого різноманіття органічних сполук перспективними інгібіторами з біоцидною дією є нітрогеновмісні гетероциклічні системи (Abd-Elal et al., 2014; Eduok et al., 2018; Demchenko et al., 2020; Singh et al.,

2023). Зокрема, похідні хіноліну привертають увагу дослідників як сполуки з біоцидною активністю та інгібітори (Matada et al., 2021; Verma & Quraishi, 2021; Singh et al., 2024; Chavan et al., 2025).

Модифікація хінолінового кільця шляхом аелювання імідазольного циклу в систему імідазохінолінію дозволяє отримати конденсовану систему, змінити електронну густину молекули та покращити її поверхнево-активні властивості, що потенційно підвищує як антимікробну, так і антикорозійну ефективності. Проте дослідження порівняльної антимікробної та антикорозійної активностей четвертинних солей хінолінію та імідазохінолінію в літературі представлені обмежено.

З огляду на це, актуальним є дослідження антимікробних та антикорозійних властивостей четвертинних солей хінолінію та імідазохінолінію, вибір ефективних біоцидів та визначення найбільш перспективних інгібіторів мікробної корозії сталі.

Матеріали та методи дослідження

Досліджували броміди 1-(4¹-R-фенацил)-хінолінію (рис.1, А) та броміди 2,3-діарил-4,5-дигідро-імідазо[1,2-а]хінолінію-3 (рис. 1, Б), що містять четвертинний Нітроген. Броміди хінолінію відрізняються замісниками в четвертому положенні фенацильного фрагмента, а імідазохінолінію містять конденсований імідазохінолінієвий цикл і арильні замісники за другим та третім положенням гетероциклічної системи. Склад та будову сполук підтверджено сучасними методами фізико-хімічного аналізу: методом ПМР-спектроскопії та мас-спектрометрії.

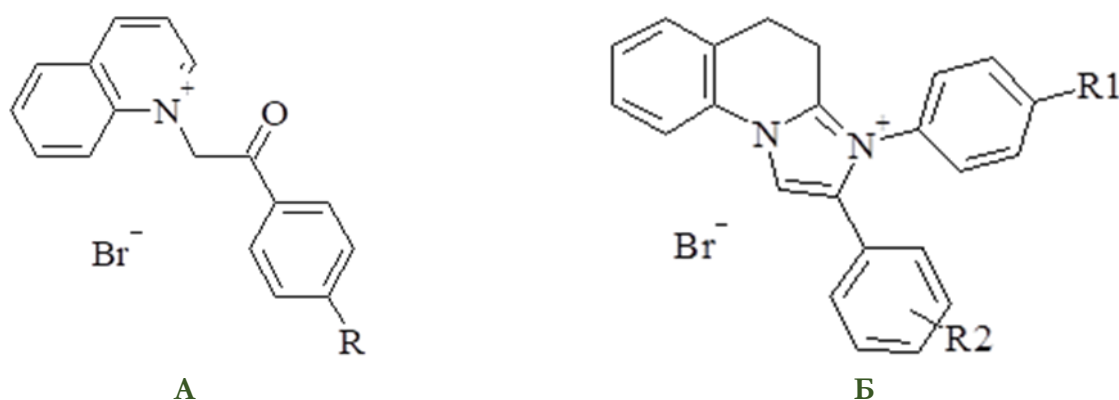


Рис. 1. Загальна формула. А – бромідів 1-(4¹-R-фенація)-хінолінію (ЧСХ I – IV): I R= -CH₃, II R= -Br, III R= -NO₂, IV R= -OC₂H₅; Б - бромідів 2,3-діарил-4,5-дигідро-імідазо[1,2-а]хінолінію-3 (ЧСІХ I – V) I R1= -H, R2 = *пара*-CH₃, II R1= -OCH₃, R2 = *пара*-CH₃, III R1= -CH₃, R2 = *пара*-Br, IV R1= -CH₃, R2 = *пара*-OC₂H₅, V R1= -OCH₃, R2 = *пара*-Br

Для оцінки антимікробної активності бромідів хінолінію та імідазо[1,2-а]хінолінію щодо штаму *Desulfovibrio* sp. М-4.1 застосовували метод дифузії в агар. У попередньо підготовлені лунки в агаризованому поживному середовищі Постгейта «В», інокульованому сульфат-відновлювальними бактеріями *Desulfovibrio* sp., вносили спиртові розчини солей концентрацією 0,25 % та 1,0 %. Склад середовища Постгейта «В» описано в (Kushkevych et al., 2021). Анаеробні умови створювали за методом Штурм у модифікації Дуди (використання покривних скелець) (Volkogon et al., 2010). Герметизацію системи здійснювали шляхом заповнення простору між склом та чашкою стерильним 2,0 % агаром. Ефективність досліджуваних солей оцінювали за діаметром зони пригнічення росту бактерій. Штам *Desulfovibrio* sp. М-4.1 виділено нами із сульфідогенного природного угруповання феросфери та ідентифіковано молекулярно-біологічними методами (Demchenko et al., 2013).

Титр бактеріальних клітин у планктоні та біоплівці визначали методом граничних десятикратних розведень при висіві відповідної клітинної суспензії на рідке поживне середовище Постгейта «В» (Volkogon et al., 2010). Адгезовані до поверхні сталі клітини бактерій були зібрані у фіксований об'єм (40 мл) 0,1N фосфатного буфера (рН = 7) за допомогою ультразвуку з частотою 25 кГц (30 с) двічі з інтервалом 60 с, з використанням приладу УЗМ-

003/н. В суспензії визначали титр клітин та перераховували на площу зразка сталі.

Методом йодометричного титрування оцінювали концентрацію біогенного H₂S (Tsyhanok et al., 2014). Відносний ступінь впливу на сульфатредукцію бактерій розраховували за формулою:

$$S = ((C - C')/C) \times 100 \%,$$

де C' та C – середня концентрація сірководню в досліджуваній і контрольній пробі відповідно, мг/л.

Корозійні дослідження проводили на маловуглецевій конструкційній сталі СтЗпс наступного хімічного складу(масові частки): 99,094 % Fe, 0,19 % C, 0,07 % Si, 0,54 % Mn, 0,01 % Ni, 0,038 % S, 0,007 %P, 0,02 % Cr, 0,007 % N, 0,020 % Cu, 0,004 % As. Сталь СтЗпс застосовують для виготовлення будівельних металоконструкцій, зварних та незварних елементів, труб і деталей обладнання, що працюють під невеликими та середніми навантаженнями. За втратою маси зразків (розмір 50×18×1 мм) розраховували швидкість корозії ($K_m = \Delta m / (S \cdot \tau)$, де Δm - втрата маси (г), S - площа поверхні зразка (м²), τ - час експозиції в годинах, коефіцієнт її гальмування ($\gamma_m = K_m / K_m'$, де K_m та K_m' – швидкість корозії зразків без інгібітора та з ним (г/(м²·год)) та ефективність інгібування під час захисту ($IE_m = (1 - \gamma_m) \times 100\%$). Час експозиції зразків сталі у середовищі Постгейта «В» становив

336 год, концентрація речовин 0,5 г/л, температура культивування $28 \pm 2^\circ\text{C}$.

Статистичне опрацювання результатів експерименту проведено для рівня значущості 0,05 з врахуванням t-розподілення; повторність дослідів триразова. Відносна похибка не перевищує 10 %.

Результати дослідження та обговорення

Біоцидні властивості похідних четвертинних солей хінолінію та імідазохінолінію щодо штаму *Desulfovibrio* sp. M-4.1 наведено в таблиці 1.

Встановлено, що досліджені речовини проявляли біоцидні властивості щодо сульфатвідновлювальних бактерій *Desulfovibrio* sp. за концентрацій 0,25 % та 1,0 %. При цьому найбільш негативний вплив на ріст бактерій виявлено для четвертинних солей імідазохінолінію, який зростав із підвищенням концентрації.

Так, за дії четвертинних солей хінолінію за концентрації 0,25 % діаметр зони пригнічення росту бактерій становив до 21,0 мм, а при 1,0 % – до 26,0 мм. Найбільшу антимікробну дію за концентрації 1,0 % виявляли сполуки ЧСХ II та ЧСХ III з електроноакцепторним замісником (-Br, та -NO₂ відповідно) в четвертому положенні фенацильного фрагмента. Введення зазначених замісників у структуру нітрогеновмісних гетероциклічних сполук підвищувало їхню токсичність для сульфатвідновлювальних бактерій. При цьому введення Брому підвищувало ліпофільність та здатність молекули проникати крізь мембрани сульфатвідновлювальних бактерій (Faleye et al., 2024), нітрогрупа часто піддається ферментативному відновленню всередині бактеріальної клітини з утворенням токсичних радикальних інтермедіатів, що руйнують ДНК бактерії (El-Atawy 2019).

Таблиця 1

Біоцидні властивості четвертинних солей хінолінію та імідазохінолінію щодо штаму *Desulfovibrio* sp. M-4.1 ($M \pm m$)

Умове позначення речовини	Діаметри зон пригнічення росту бактерій (мм) за відповідної концентрації речовин	
	0,25 %	1,0 %
броміди 1-(4 ¹ -R-фенацил)-хінолінію		
ЧСХ I	15,0 $\pm$ 0,5	21,7 $\pm$ 1,7
ЧСХ II	14,8 $\pm$ 0,8	25,0 $\pm$ 1,9
ЧСХ III	21,0 $\pm$ 1,6	26,0 $\pm$ 1,3
ЧСХ IV	20,0 $\pm$ 1,2	20,0 $\pm$ 1,6
броміди 2,3-діарил-4,5-дигідро-імідазо[1,2-а]хінолінію-3		
ЧСІХ I	24,7 $\pm$ 1,7	34,5 $\pm$ 2,3
ЧСІХ II	27,3 $\pm$ 1,2	36,7 $\pm$ 1,8
ЧСІХ III	33,3 $\pm$ 1,7	45,5 $\pm$ 3,4
ЧСІХ IV	27,2 $\pm$ 1,2	38,2 $\pm$ 1,6
ЧСІХ V	30,0 $\pm$ 1,1	38,7 $\pm$ 1,8

Сульфатвідновлювальні бактерії виявили чутливість щодо дії бромідів 2,3-діарил-4,5-дигідро-імідазо[1,2-а]хінолінію-3. Діаметри зон пригнічення росту бактерій становили до 45,5 мм за концентрації 1,0 %.

Біоцидна дія солей ЧСІХ I та ЧСІХ II за концентрації 1,0 % виявилась подібною: діаметри зон затримки росту становили до

36,7 мм (табл. 1). Така близькість результатів очевидно обумовлена подібністю їхньої хімічної будови. У структурі обидвох молекул є однаковий *пара*-метилфенільний замісник у положенні 2, тоді як у положенні 3 знаходяться незаміщена фенільна (ЧСІХ II) та *пара*-метоксифенільна (ЧСІХ I) групи відповідно.

Схожа тенденція спостерігалась і при аналізі активікробних властивостей щодо сульфатвідновлювальних бактерій *Desulfovibrio* sp. сполук ЧСІХ IV та ЧСІХ V, для яких зони пригнічення росту бактерій становили 38,2 мм та 38,7 мм відповідно. Схожа чутливість сульфатвідновлювальних бактерій до цих речовин свідчить про те, що зміна взаємного розташування замісників у положеннях 2 та 3 (*para*-етоксифенільного та *para*-метилфенільного для ЧСІХ IV порівняно з *para*-бромфенільним та *para*-етоксифенільним для ЧСІХ V) суттєво не порушує загальний гідрофобно-ліпофільний баланс, необхідний для проявлення бактеріцидних властивостей.

Максимальний біоцидний ефект щодо штаму *Desulfovibrio* sp. М-4.1 зафіксовано для сполуки ЧСІХ III, яка містить електроно-акцепторний *para*-бромфенільний замісник та *para*-метилфенільну групу в положенні 2 та 3 гетероциклічної системи, відповідно.

Ймовірно, наявність атомів Брому забезпечувало зростання біоцидної активності за рахунок «галогенового ефекту» (Faleye et al., 2024), який підвищував проникність катіона крізь мембранні структури мікроорганізмів та призводило до пригнічення функціонування сульфатвідновлювальних бактерій. Це узгоджується як для сполук ряду четвертинних солей хінолінію, так і імідазохінолінію. Характер і

положення замісників у фенільному заміснику четвертинних солей імідазохінолінію суттєво впливали на їхню антибактеріальну дію.

Сульфатвідновлювальні бактерії *Desulfovibrio* sp. виявили більшу чутливість щодо речовин ряду четвертинних солей імідазохінолінію, ніж сполук ряду четвертинних солей хінолінію. Це свідчить про перспективність їх дослідження як інгібіторів мікробної корозії сталі, індукованої сульфатвідновлювальними бактеріями *Desulfovibrio* sp.

Так, за дії досліджуваних бромідів 2,3-діарил-4,5-дигідро-імідазо[1,2-а]хінолінію-3 клітин мікроорганізмів у бактеріопланктоні не виявлялось. При цьому у контролі їх чисельність досягала 10^8 кл/мл.

Враховуючи те, що основні процеси біокорозії відбуваються в біоплівці, утвореній на поверхні металу, було визначено чисельність прикріплених клітин сульфатвідновлювальних бактерій до поверхні металевого зразка.

За присутності досліджених речовин бактерії штаму *Desulfovibrio* sp. М 4.1 формували слабку за чисельністю клітин біоплівку порівняно з контролем (рис. 2). У біоплівці за присутності досліджуваних четвертинних солей імідазохінолінію, кількість клітин менша у 10^6 – 10^8 разів порівняно з контролем.

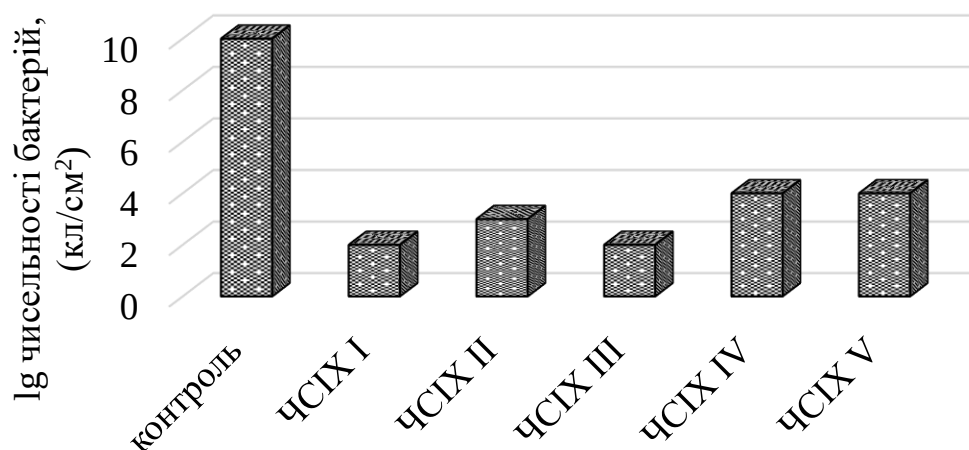


Рис. 2. Кількість клітин сульфатвідновлювальних бактерій штаму *Desulfovibrio* sp. М 4.1 у біоплівці за дії бромідів 2,3-діарил-4,5-дигідро-імідазо[1,2-а]хінолінію-3

Найменшу кількість (10^2 кл/см²) сульфатвідновлювальних бактерій *Desulfovibrio* sp. у біоплівці було виявлено за присутності ЧСІХ I та ЧСІХ III, що корелює із значними

біоцидними властивостями сполук (таблиця 1).

У ході дослідження було встановлено вплив четвертинних солей імідазохінолінію

на процес мікробної корозії сталі СтЗпс, індукованої сульфатвідновлювальними бактеріями *Desulfovibrio* sp. (табл.2).

Швидкість корозії сталі зменшувалась у 6,5 разів за присутності інгібіторів ЧСІХ І та ЧСІХ ІV. За дії ЧСІХ ІІІ та ЧСІХ VІ швидкість корозії сталі знижувалась у 8,1 рази та у 8,7 разів, що забезпечувало захисний ефект 87,7 % та 88,5 % відповідно.

Більш ефективним інгібітором мікробної корозії серед досліджених сполук виявилася речовина ЧСІХ ІІ: швидкість

корозії зменшувалась у 13,0 разів, що забезпечувало захисний ефект 92,4 % (табл. 2). Встановлено, що за присутності четвертинних солей імідазохінолінію за умов біокорозії сталі продукування сірководню бактеріями штаму *Desulfovibrio* sp. М 4.1 пригнічувалось: концентрація біогенного сірководню зменшувалась в 7,2–9,9 разів порівняно з контролем. Відносний ступінь впливу досліджених речовин становив до 91,6 %.

Таблиця 2

Показники мікробної корозії сталі за присутності бромідів 2,3-діарил-4,5-дигідро-імідазо[1,2-а]хінолінію-3

Умовне позначення речовини	Показники		
	γ_m	ІЕ _m , %	S, %
ЧСІХ І	6,5	84,6	88,8
ЧСІХ ІІ	13,0	92,4	86,1
ЧСІХ ІІІ	8,7	88,5	91,6
ЧСІХ ІV	6,5	84,6	89,9
ЧСІХ V	8,1	87,7	89,5

Отже, четвертинні солі імідазохінолінію за умов біокорозії повністю пригнічували розвиток штаму *Desulfovibrio* sp. М 4.1 у бактеріопланктоні та знижували чисельність бактерій у біоплівці, що формувалась на поверхні зразка сталі: кількість клітин зменшувалась у 10^6 – 10^8 разів порівняно з контролем. Четвертинні солі імідазохінолінію виявляли властивості інгібіторів мікробної корозії сталі, індукованої сульфатвідновлювальними бактеріями *Desulfovibrio* sp. (захисний ефект становив до 92,4 %). Найбільшу захисну дію проявляв бромід 2-(пара-толіл)-3-(4¹-метоксіфеніл)-4,5-дигідро-імідазо[1,2-а]хінолінію (ЧСІХ ІІ), це, напевно, обумовлено поєднанням електронно-донорних замісників у структурі молекули, що і призводило до зростання її адсорбційної здатності на поверхні металу.

Зіставлення одержаних експериментальних даних із літературними показниками ефективності інших інгібіторів мікробної корозії свідчить про суттєві переваги четвертинних солей імідазохінолінію (Abd-Elaal et al., 2014; Eduok et al.,

2018, Singh et al., 2023). Більшість промислових інгібіторів виявляли захисний ефект (до 88,0 %) лише при комбінуванні з біоцидами щодо корозійно-активних бактерій. Натомість досліджувані броміди імідазохінолінію поєднують у своїй структурі анельоване імідазольне кільце, що забезпечує подвійний механізм дії. Захисний ефект становив до 92,4 %, що перевищує показники як вихідних солей хінолінію, так і більшості відомих нітрогеновмісних гетероциклічних аналогів. Це підтверджує високий потенціал бромідів імідазохінолінію як багатофункціональних інгібіторів-біоцидів.

Висновки

Встановлено, що похідні четвертинних солей хінолінію та імідазо[1,2-а]хінолінію проявляли високу антимікробну активність щодо сульфатвідновлювальних бактерій *Desulfovibrio* sp. за концентрацій розчинів 0,25 % та 1,0 %, яка зростала зі збільшенням концентрації.

Природа замісника в пара-положенні фенільного кільця фенацильного фрагмента бромідів 1-(4¹-R-фенацил)-хінолінію була

визначальним фактором токсичності щодо сульфатвідновлювальних бактерій *Desulfovibrio* sp. Електроноакцепторні замісники (-NO₂, -Br) суттєво інтенсифікували антимікробну дію четвертинних солей хінолонію, забезпечуючи максимальні діаметри зон пригнічення росту бактерій у низці досліджених похідних хінолонію за концентрації 1,0 % (25,0 мм та 26,0 мм для ЧСХ II та ЧСХ III відповідно).

Анелювання імідазольного кільця до хінолінового ядра суттєво посилювало антимікробну дію четвертинних солей імідазо[1,2-а]хінолінію: за концентрації 1,0 % діаметр зон пригнічення росту бактерій становив до 45,5 мм. Це значно перевищує ефективність солей ряду

хінолінію і дозволяє рекомендувати конденсовану імідазохінолінієву систему як перспективну платформу для створення ефективних біоцидів.

Встановлено, що четвертинні солі імідазо[1,2-а]хінолінію знижували чисельність клітин штаму *Desulfovibrio* sp. M 4.1 в бактеріопланктоні та біоплівці за умов мікробної корозії сталі. Найбільший захисний ефект 92,4 % проявляв бромід 2-(*para*-толіл)-3-(4¹-метоксіфеніл)-4,5-дігідро-імідазо[1,2-а]хінолінію (ЧСХ II). Це робить броміди імідазо[1,2-а]хінолінію перспективними багатофункціональними інгібіторами (інгібітори-біоциди) для захисту конструкційних матеріалів від мікробної корозії.

Фінансування / Funding

Це дослідження не отримало зовнішнього фінансування / This research received no external funding.

Заява про доступність даних / Data Availability Statement

Набір даних доступний за запитом до авторів / Dataset available on request from the authors.

Заява інституційної ревізійної ради / Institutional Review Board Statement

Не застосовується / Not applicable.

Заява про інформовану згоду / Informed Consent Statement

Не застосовується / Not applicable.

Конфлікт інтересів / Conflict of interest

Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів / The authors declare no conflict of interest.

Декларація про генеративний штучний інтелект і технології на основі штучного інтелекту в процесі написання / Declaration on Generative Artificial Intelligence and AI-enabled Technologies in the Writing Process

У цьому дослідженні не використовувався генеративний штучний інтелект або технології штучного інтелекту для збору, аналізу чи інтерпретації даних / This study did not use generative artificial intelligence or AI-enabled technologies to collect, analyze, or interpret data.

References

Abd-Elaal, A. A., Aiad, I., Shaban, S. M., Tawfik, S. M., & Sayed, A. (2014). Synthesis and evaluation of some triazole derivatives as corrosion inhibitors and biocides. *Journal of Surfactants and Detergents*, 17(3), 483–491. <https://doi.org/10.1007/s11743-013-1547-0>

Alimov, V. I., & Duriagina, Z. A. (2012). *Corrosion and protection of metals from corrosion*. Skhidnyi Vydavnychiy Dim. 328 p. (in Ukrainian).

Алімов В. І., Дурягіна З. А. Корозія та захист металів від корозії : навч. посіб. Донецьк ; Львів : Східний видавничий дім, 2012. 328 с.

Chavan, N. D., Sarveswari, S., & Vijayakumar, V. (2025). Quinoline derivatives' biological interest for anti-malarial and anti-cancer activities: An overview. *RSC Advances*, 15(36), 25345–25360. <https://doi.org/10.1039/d5ra00534e>

Demchenko, N., Tkachenko, S., & Demchenko, S. (2020). Synthesis, antibacterial and anti-corrosive activity of 2,3-dihydroimidazo[1,2-a]pyridinium bromides. *Chemistry & Chemical Technology*, 14(3), 327–333. <https://doi.org/10.23939/chcht14.03.327>

Demchenko, N. V., Kurmakova, I. M., & Tretyak, O. P. (2013). Features of corrosion activity of microbial communities of gas-pipeline ferrosphere laid in sandy soil. *Microbiology and Biotechnology*, (4), 90–97. <http://erpub.chnpu.edu.ua:8080/jspui/handle/123456789/6090>. (in Ukrainian).

Демченко Н.М., Курмакова І.М., Третяк О.П. Особливості корозійної активності мікробних спільнот феросфери газопроводу в піщаному ґрунті. *Мікробіологія і біотехнологія*. 2013. № 4. С. 90–97. <http://erpub.chnpu.edu.ua:8080/jspui/handle/123456789/6090>

Eduok, U., Faye, O., & Szpunar, J. (2018). Effect of benzothiazole biocide on SRB-induced biocorrosion of hot-dip galvanized steel. *Engineering Failure Analysis*, 93, 111–121. <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2018.07.008>

El-Atawy, M. A., Hamed, E. A., Alhadi, M., & Omar, A. Z. (2019). Synthesis and antimicrobial activity of some new substituted quinoxalines. *Molecules*, 24(22), Article 4198. <https://doi.org/10.3390/molecules24224198>

Enning, D., & Garrelfs, J. (2014). Corrosion of iron by sulfate-reducing bacteria: New views of an old problem. *Applied and Environmental Microbiology*, 80(4), 1226–1236. <https://doi.org/10.1128/AEM.02848-13>

Faleye, O. S., Boya, B. R., Lee, J.-H., Choi, I., & Lee, J. (2024). Halogenated antimicrobial agents to combat drug-resistant pathogens. *Pharmacological Reviews*, 76(1), 90–141. <https://doi.org/10.1124/pharmrev.123.000863>

Khan, M. S., Liang, T., Liu, Y., Shi, Y., Zhang, H., Li, H., Guo, S., Pan, H., Yang, K., & Zhao, Y. (2022). Microbiologically influenced corrosion mechanism of ferrous alloys in marine environment. *Metals*, 12(9), Article 1458. <https://doi.org/10.3390/met12091458>

Koerdt, A., Knisz, J., Wade, S., & Silva, E. R. (Eds.). (2026). Microbiologically influenced corrosion: A comprehensive guide to principles, assessment and mitigation (1st ed.). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781032708010>

Kushkevych, I., Kovářová, A., Dordevic, D., Gaine, J., Kollar, P., Vítězová, M., Rittmann, S.K.-M.R. (2021). Distribution of Sulfate-Reducing Bacteria in the Environment: Cryopreservation Techniques and Their Potential Storage Application. *Processes*, 9, 1843. <https://doi.org/10.3390/pr9101843>

Liu, N., Qiu, L., & Qiu, L. (2024). Carbon steel corrosion induced by sulfate-reducing bacteria: A review of electrochemical mechanisms and pathways in biofilms. *Coatings*, 14(9), Article 1105. <https://doi.org/10.3390/coatings14091105>

Matada, B. S. M., Pattanashettar, R., & Yernale, N. G. (2021). A comprehensive review on the biological interest of quinoline and its derivatives. *Bioorganic & Medicinal Chemistry*, 32, Article 115973. <https://doi.org/10.1016/j.bmc.2020.115973>

Purish, L. M., Abdulina, D. R., & Iutynska, G. O. (2021). Inhibitors of corrosion induced by sulfate-reducing bacteria. *Mikrobiolohichniy Zhurnal*, 83(6), 95–109. <https://doi.org/10.15407/microbiolj83.06.095>

Shi, X., Zhang, R., Sand, W., Mathivanan, K., Zhang, Y., Wang, N., Duan, J., & Hou, B. (2023). Comprehensive review on the use of biocides in microbiologically influenced corrosion. *Microorganisms*, 11(9), Article 2194. <https://doi.org/10.3390/microorganisms11092194>

Singh, A., Ansari, K. R., Ali, I. H., Sharma, N. R., Bansal, A., Alanazi, A. K., & Noureldeen, A. (2023). Corrosion and bacterial growth inhibition by amino acid functionalized pyridine derivative at P110 steel/oil formation water interface: Experimental, surface and molecular docking investigations. *Journal of Molecular Liquids*, 391, Article 123305. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2023.123305>

Singh, V. K., Kumari, P., Som, A., Rai, S., Mishra, R., & Singh, R. K. (2024). Design, synthesis and antimicrobial activity of novel quinoline derivatives: An in silico and in vitro study. *Journal of Biomolecular Structure and Dynamics*, 42(13), 6904–6924. <https://doi.org/10.1080/07391102.2023.2236716>

Tsyhanok, L. P., Bubel, T. O., Vishnikin, A. B., & Vashkevych, O. Y. (2014). *Analytical chemistry. Chemical methods of analysis* (L. P. Tsyhanok, Ed.). Oles Honchar Dnipropetrovsk National University. 252 p. (in Ukrainian). https://library.dnu.dp.ua/Metodichki/analit_chimija.pdf

Циганок Л. П., Бубель Т. О., Вишнікін А. Б., Вашкевич О. Ю. Аналітична хімія. Хімічні методи аналізу : навч. посіб. / за ред. Л. П. Циганок. Дніпропетровськ : ДНУ ім. О. Гончара, 2014. 252 с. https://library.dnu.dp.ua/Metodichki/analit_chimija.pdf

Verma, C., & Quraishi, M. A. (2021). Quinoline and its derivatives as corrosion inhibitors. In *Organic Corrosion Inhibitors: Synthesis, Characterization, and Applications* (pp. 149–165). Wiley. <https://doi.org/10.1002/9781119794516.ch8>

Volkogon, V.V., Nadkernychna, O.V., Tokma-kova, L.M. et al. (2010). *Experimental Soil Microbiology*. (V. V. Volkogon, Ed.). Agrarian Science. (in Ukrainian).

Волкогон В. В., Надкернична О. В., Токмакова Л. М. та ін. Експериментальна ґрунтова мікробіологія / за ред. В. В. Волкогона. Київ : Аграрна наука, 2010. 464 с.

Wang, D., Liu, J., Jia, R., Dou, W., Kumseranee, S., Punpruk, S., Li, X., & Gu, T. (2020). Distinguishing two different microbiologically influenced corrosion (MIC) mechanisms using an electron mediator and hydrogen evolution detection. *Corrosion Science*, 177, Article 108993. <https://doi.org/10.1016/j.corsci.2020.108993>

Received: 23.06.2026. **Accepted:** 08.08.2026. **Published:** 07.09.2026.

Ви можете цитувати цю статтю так:

Демченко Н., Ткаченко С. Антимікробна та антикорозійна активність четвертинних солей хінолінію та імідазо[1,2-а]хінолінію. *Biota. Human. Technology*. 2026. № 2. С. 120-129. DOI: <https://doi.org/10.58407/bht.2.26.9>

Cite this article in APA style as:

Demchenko, N., & Tkachenko, S. (2026). Antymikrobnа ta antykorozijnа aktyvnosti chetvertynnykh solei khinoliniu ta imidazo[1,2-a]khinoliniu [Antimicrobial and anticorrosive activities of quaternary quinolinium and imidazo[1,2-a]quinolinium salts]. *Biota. Human. Technology*, (2), 120-129. <https://doi.org/10.58407/bht.2.26.9> (in Ukrainian)

Information about the authors:

Demchenko N. [*in Ukrainian: Демченко Н.*] ¹, Cand. Sc. (Biol.), Assoc. Prof., email: nata_demch@ukr.net
ORCID: 0000-0001-8542-730X Scopus-Author ID: 57190674891
Department of Biology and Human Health, T.H. Shevchenko National University "Chernihiv Colehium"
53 Hetmana Polubotka Street, Chernihiv, 14013, Ukraine

Tkachenko S. [*in Ukrainian: Ткаченко С.*] ², Cand. Sc. (Biol.), Assoc. Prof., email: tkachenko16sv@ukr.net
ORCID: 0000-0002-7215-1196 Scopus-Author ID: 57207466413 ResearcherID: AAE-4311-2020
Department of Chemistry, Technology and Pharmacy, T.H. Shevchenko National University "Chernihiv Colehium"
53 Hetmana Polubotka Street, Chernihiv, 14013, Ukraine

¹ Study design, data collection, statistical analysis, manuscript preparation.

² Data collection, manuscript preparation.