

ТЕОРЕТИЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ БІОХІМІЧНИХ МЕХАНІЗМІВ, ЯКІ АКТИВУЮТЬ МІКРОБНУ КОРОЗІЮ

А. І. ПІЛЯШЕНКО-НОВОХАТНИЙ

Відкритий міжнародний університет розвитку людини "Україна", Київ

Досліджено участь бактерій циклу сірки в процесах підземної корозії. Показано, що метаболізм цих мікроорганізмів знижує ефективність електрохімічного захисту підземних металевих споруд практично до нуля. Доведено провідну роль бактеріальних окиснювально-відновних ферментів у цих процесах, однак питання про механізми трансформації неагресивної спільноти ґрунтових мікроорганізмів у корозійно-активні залишається відкритим. Теоретично узагальнено і сформульовано гіпотезу, яка пояснює механізм формування корозійно-активного мікробного угруповання.

Ключові слова: *бактерії циклу сірки, мікробна корозія, катодний захист, магнетосоми, сидерофори.*

Вперше щодо інтенсифікації біогеохімічної активності мікроорганізмів під впливом техногенезу висловився академік В. І. Вернадський. Визначаючи мікробно індуквану корозію як один з проявів біогеохімічної активності мікроорганізмів, вважали за доцільне розглянути цю проблему з точки зору екологічної відповіді ґрунтових мікробних угруповань на зростаюче техногенне навантаження, яким безумовно є будівництво підземних трубопроводів, тунелів метрополітену, сховищ пального тощо.

Мікробіота ґрунту відразу реагує на будь-які зміни зовнішнього середовища. Найпотужніше на неї впливає господарська діяльність людини, зокрема підземне будівництво, яке спричиняє інтенсифікацію геохімічної діяльності мікроорганізмів. Це явище отримало назву техногенез.

На основі аналізу літературних джерел та власних досліджень спробували теоретично узагальнити результати та сформулювати гіпотезу, здатну пояснити феномен формування корозійно-активної сукупності мікроорганізмів. Дослідження мали на меті визначити, за якими саме механізмами може розвиватися їхня взаємодія, які можливі підходи для прогнозування і регулювання інтенсивності ґрунтової мікробно індукованої корозії.

Досліджували ґрунти, на які не впливали техногенні чинники (аборигенні), та ґрунти під постійним техногенним навантаженням (техногенні). Всього обстежили 27 зразків аборигенних та 24 зразки техногенних ґрунтів, які вибирали з четвертинних палеогенових відкладів. Мікробіологічні висіви здійснювали п'ятиразово. Порівнюючи склад мікробних угруповань зазначених ґрунтів, виявили кількісні розбіжності (див. таблицю).

З таблиці видно, що природний ґрунт палеогенових відкладів містить незначну кількість іонів Fe^{2+} порівняно з техногенним з модельного досліджу. За кількістю амоніфікувальних (АБ) та денітрифікувальних (ДНБ) бактерій природний та техногенний ґрунти майже не відрізнялись. Водночас кількість сульфат-відновлювальних (СВБ), тіонових (ТБ) та залізовідновлювальних (ЗВБ) бактерій

у техногенному ґрунті на декілька порядків вища. Зважаючи на значний вміст в останньому іонів Fe^{2+} , можна з високою ймовірністю говорити про екоадаптацію цих груп бактерій до підвищеної кількості зазначених іонів у ґрунті [1, 2].

Порівняльні характеристики техногенних та аборигенних мікробних угруповань

Тип угруповання	Fe^{2+} , μg/g ґрунту	Кількість бактеріальних клітин в 1 g ґрунту				
		АБ	ДНБ	ТБ	СВБ	ЗВБ
Аборигенне	60	10^7	10^7	10^4	10	10^2
Техногенне	300	10^8	10^6	10^6	10^4	10^5

Примітка: аборигенні угруповання виділені з ґрунтів в районі с. Нові Петрівці; техногенні – поблизу с. Халеп'є, неподалік Трипільської ГРЕС.

У техногенних угрупованнях спостерігаємо характерне збільшення кількості тіонових, сульфат- та залізовідновлювальних бактерій, тобто мікроорганізмів, які здатні трансформувати сполуки сірки та заліза. Вміст цих груп бактерій зростає на 2–3 порядки порівняно з аборигенним ґрунтом. Таке збільшення можна пояснити підвищеним проти аборигенного вмістом іонів Fe^{2+} . Це свідчить про диференційний вплив заліза як техногенного чинника на аборигенне угруповання, який забезпечує переважний розвиток сульфатвідновлювальних бактерій. Така зміна в складі угруповання робить його агресивним щодо металевих конструкцій, підсилює його корозійну дію на них і, як наслідок, підвищує вихід Fe^{2+} -іонів з конструкцій. У ґрунтах, де зберігаються стійкі трофічні зв'язки, під впливом техногенезу спостерігаємо одночасно і підвищення кількості тіонових та залізовідновлювальних бактерій.

Збільшення вмісту Fe^{2+} у реакційному середовищі підсилює фізіологічну активність залізовідновлювальних бактерій, а саме сприяє інтенсивному синтезу сидерофорів, специфічних білків, які здатні транспортувати іони заліза через клітинну мембрану (рис. 1) [3, 4].

$NH_2CO - (CH_2)_2 - CONH$

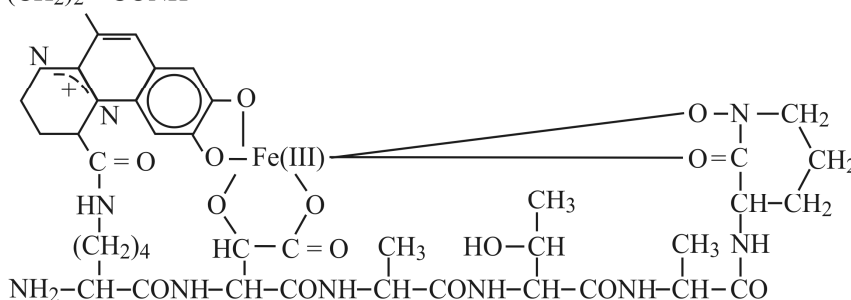


Рис. 1. Структура сидерофора псевдобактина, продукованого штамом *Pseudomonas* B10.

Fig. 1. Structure of siderophore pseudobaktin from *Pseudomonas* B10 strain.

Підвищення концентрації розчинних форм заліза є обов'язковою складовою корозійного процесу. Таким чином, можемо стверджувати, що сталь, яка кородує, здатна сприяти розвитку таких фізіологічних груп мікроорганізмів, життєдіяльність яких значно активує корозійний процес.

Водночас відомо, що іони заліза є біоцидами для багатьох видів бактерій, тобто має функціонувати певний механізм детоксикації. Детоксикуючим агентом

може виступати відомий з літературних джерел специфічний білок з підвищеним (до 10%) вмістом заліза [1]. Транспортування високих концентрацій заліза в середину мікробних клітин забезпечують сідерофори, які максимально активні серед представників роду *Pseudomonas* і є обов'язковими учасниками корозійно-активних угруповань, а також мають протигрибкову антибіотичну дію.

Специфічний залізовмісний білок може бути посередником під час синтезу структур, подібних до магнетосом (рис. 2) [5].

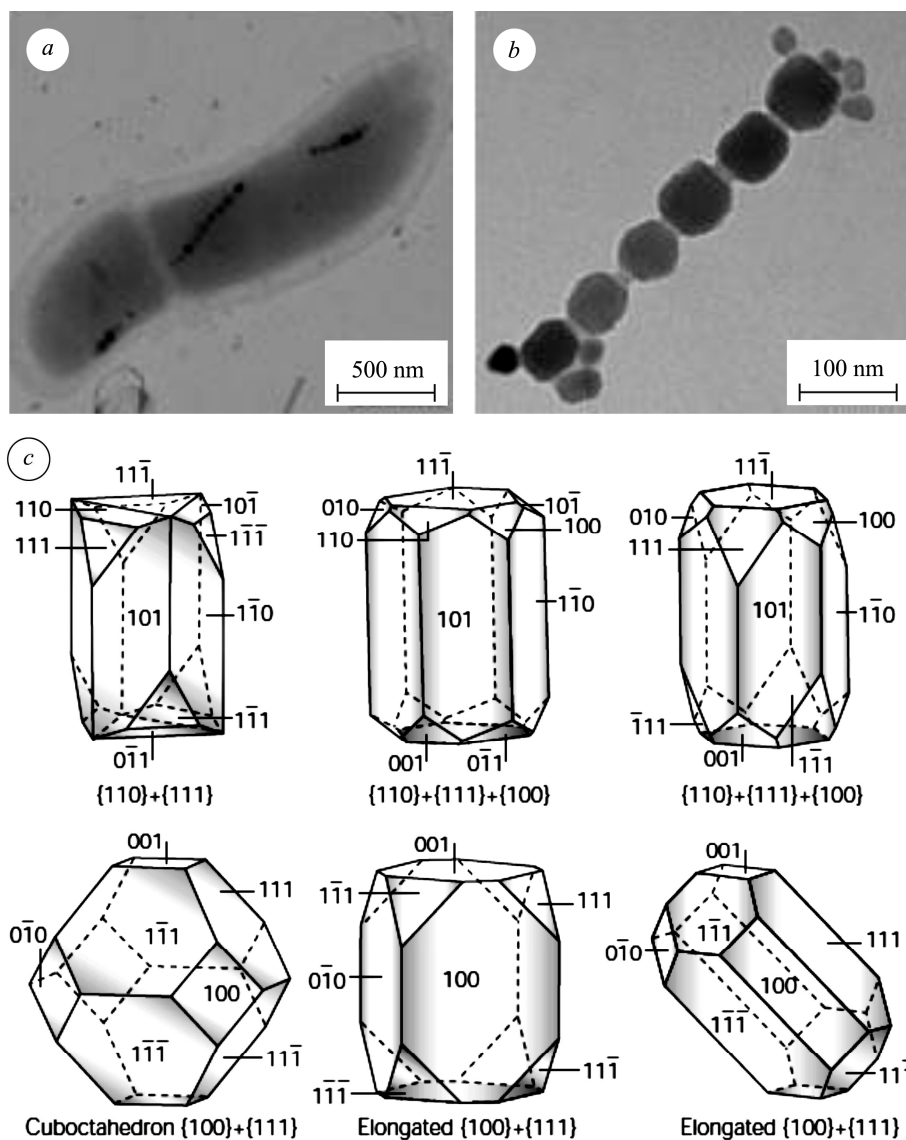


Рис. 2. Електронні мікрофотографії (a, b) та форми кристалів (c) магнетосом.

Fig. 2. Electron photomicrographs (a, b) and crystals forms (c) of magnetosomes.

Синтез магнетосом забезпечує швидку та щільну адгезію корозійно-активних мікроорганізмів до поверхні металевої споруди. Одночасно можливий вихід назвні клітини структур, подібних до активних центрів гідрогенази сульфатвідновлювальних бактерій.

Таким чином, можна вважати, що саме підвищення концентрації іонів Fe(III) у ґрунті активізує мікробну корозію.

РЕЗЮМЕ. Исследовано участие бактерий цикла серы в процессах подземной коррозии. Метаболизм этих микроорганизмов снижает эффективность электрохимической защиты подземных металлических сооружений практически до нуля. Доказана ведущая роль бактериальных окислительно-восстановительных ферментов в этих процессах, однако вопрос о механизмах трансформации неагрессивного сообщества почвенных микроорганизмов в коррозионно-активное остается открытым. Теоретически обобщена и сформулирована гипотеза, объясняющая механизм формирования коррозионно-активного микробного сообщества.

SUMMARY. Involvement of sulfur cycle bacteria into the processes of the underground corrosion is investigated. The metabolism of these microorganisms decreases the efficiency of electrochemical protection of underground metal structures almost to zero. The leading role of bacterial oxidation-reduction enzymes in these processes is proved, however there is no answer to the question on the mechanisms of transformation of non-aggressive community of soil microorganisms into corrosion active ones. By the analysis of the literature data and our previous results the hypothesis to explain the phenomenon of formation of corrosion active microbial community is theoretically generalized.

1. *Мікробна корозія підземних споруд* / К. І. Андреюк, І. П. Козлова, Ж. П. Коптева, А. Ф. Піляшенко-Новохатний, В. В. Заніна, Л. М. Пуріш. – К.: Наук. думка, 2005. – 260 с.
2. *Phylogenetic characterization of a corrosive consortium isolated from a sour gas pipeline* / J. Jan-Roblero, J. M. Romero, M. Amaya, S. Le Borgne // *Appl. Microbiol. Biotechnol.* – 2004. – **64**. – P. 862–867.
3. *Videla H. A. and Herrera L. K. Microbiologically influenced corrosion: looking to the future* // *Int. Microbiology.* – 2005. – **8**. – P. 169–180.
4. *Nadell C. D., Xavier J. B., and Foster K. R. The sociobiology of biofilms* // *FEMS Microbiol. Rev.* – 2009. – **144**, № 18. – P. 206–224.
5. *Глик Б., Пастернак Дж.* Молекулярная биотехнология. Принципы и применения. – М.: Мир, 2002. – 590 с.

Одержано 21.06.2016