

**БАКТЕРІЇ РОДУ *CLOSTRIDIUM* ЯК УЧАСНИКИ ПОШКОДЖЕННЯ
МАТЕРІАЛІВ****Н.В. Ткачук¹, К.О. Гаркавенко²**^{1,2}Національний університет «Чернігівський колегіум» імені Т.Г.Шевченка,
вул.Гетьмана Полуботка, 53, Чернігів, 14013, Україна

Одна з ключових корозійно активних груп бактерій - сульфатвідновлювальні (СВБ) [1]. За особливостями метаболізму їх існування у природних умовах пов'язане з мікроорганізмами, здатними продукувати водень [2], якими є, зокрема, й представники роду *Clostridium* [3]. Метою даної роботи було проаналізувати літературні джерела щодо вивченості питання участі представників роду *Clostridium* у процесах мікробно індукованої корозії (МІК).

Відомо, що деякі види *Clostridium* продукують сірководень та органічні кислоти, а отже, підвищують корозію металів [4, 5]. Крім того, активність гідрогенази, продукованої *C. pasteurianum*, каталізує видалення катодного водню з легкої сталі, коли доступні акцептори електронів [6]. Автори підкреслюють важливість оцінки впливу клостридій (поряд з СВБ) щодо корозійних процесів.

Дослідниками встановлено присутність сульфідогенних клостридій у місцях, які містять корозійно активні сульфатвідновлювальні бактерії, і продукти обміну клостридій використовуються СВБ як субстрати [7]. Досліджено мікробно індуковану корозію за впливу сульфатвідновлювального консорціуму, у якому серед інших представників (за аналізом нуклеотидної послідовності 16s рРНК) ідентифіковано й *Clostridium* sp. (*C. felsineum*, *C. foenicaceticum*). Висувається припущення, що здатність бактерій роду *Clostridium* до ферментативного використання лактату в залежності від рН середовища, продукція ними ацетату, бікарбонату або пропіонової кислоти може мати відношення до досліджуваної системи, яка працює синергетично і впливає на корозію легованої сталі [8]. З поверхні газопроводу виділено та ідентифіковано (поряд з *Desulfovibrio vietnamensis*) клостридії - *C. celerecrescen* та *C. sporogenes* [9]. Проте корозія, викликана *C. celerecrescens*, є низькою порівняно з повідомленою для *D. vietnamensis*, виділеною з того ж газопроводу. Є повідомлення про те, що у зразках, відібраних з поверхні оцинкованої вуглецевої сталі, за відсутності СВБ переважали (окрім деяких інших бактерій) представники роду *Clostridium* [10]. Автори висувають припущення, що співіснування та синергізм між екзополісахаридпродукуючими бактеріями і кислотоутворювальними бактеріями можуть сприяти прискоренню корозії

металевих поверхонь. Сульфідгенні угруповання (сульфат- та тіосульфатвідновлювальні) з виробничих вод узбережних нафтових родовищ у північно-східній Індії досліджено з використанням підходу культивування [11]. Автори також ідентифікували бактерії, базуючись на секвенуванні гена 16S рРНК. Встановлено приналежність тіосульфатвідновлювальних бактерій до різних родів, серед яких і *Clostridium*, домінування філотипів, пов'язаних з *Clostridium* (69%) та *Desulfovibrio* (53%). Це дослідження демонструє різноманіття тіосульфат- та сульфатвідновлювальних бактерій, які відіграють вирішальну роль у корозії резервуарів для розділення нафти та води у північно-східних індійських нафтових родовищах. Ihan-Sungur E. зі співавторами [12] дослідили сульфідуютьвальний бактеріальний консорціум, до складу якого входили *Desulfosporosinus meridie* та *Clostridium* sp., і встановили, що він призвів до незначного збільшення корозії оцинкованих сталевих зразків. Автори зазначають, що сульфатвідновлювальні бактерії та клостридії часто співіснують у природі, і *Clostridium* sp. може зменшити агресивний ефект штамів *Desulfosporosinus* sp. Проаналізовано мікробне угруповання сірководновлювального біореактора та сульфідогенна швидкість у ньому [13]. Встановлено домінування сірководновлювальних бактерій, зокрема клостридій, наприкінці експерименту.

Мікроорганізми, що виробляють велику кількість екзополісахаридів при рості біоплівки беруть участь у локалізованій атаці нержавіючих сталей. Так, з кородованих ділянок нержавіючої сталі серед інших мікроорганізмів були виділені й слизоутворювальні *Clostridium* spp. [14]. Вироблення клостридіями та іншими бактеріями великої кількості позаклітинних полімерних речовин-компонентів біоплівки, зв'язок з локалізованою деструкцією нержавіючих сталей і неодноразове виділення з корозійних ділянок нержавіючої сталі зазначено у праці [15]. Деякі клостридії (зокрема *C. perfringens*) відносяться до групи сульфідвідновлювальних - відновлюють сульфід до сульфіду, який є корозійно активною сполукою [16]. Досліджено анаеробну корозію, викликану облігатними анаеробними бактеріями *Clostridium pasteurianum* [5]. Встановлено більш високу швидкість корозії металевих зразків, ніж можна було б віднести за рахунок вивільнення H_2 або інших продуктів метаболізму. Автори роблять висновок, що *Clostridium pasteurianum* може діяти як потенційне джерело корозії на початкових стадіях анаеробної корозії навіть до утворення або ініціації біоплівки та біотичних процесів, які сприяють корозії.

Представники роду *Clostridium*, а саме *Clostridium acidisoli*, *Clostridium algidixylanolyticum*, *Clostridium butyricum* були ідентифіковані із зразків трубопроводів природного газу з використанням нуклеотидних послідовностей 16S рРНК [17]. Автори зазначають, що клостридії є кислотоутворювальними бактеріями, зокрема *C. butyricum*, і можуть відігравати ключову роль у корозії. *Clostridium butyricum* більш численний у біоплівках, сформованих на металевих зразках, занурених у середовище для СВБ, ніж у планктонній бактеріальній популяції газопроводів. Вважається, що бактерії роду *Clostridium* пов'язані з МІК і мають здатність переходити у стан спори за несприятливих умов. Спори несприйнятливі щодо проникнення більшості хімічних сполук і, тому, можуть витримати вплив біоцидів на невизначений термін [18].

Таким чином, бактерії роду *Clostridium* виділено з корозійно агресивних середовищ, сульфідогенних бактеріальних консорціумів. При цьому механізми впливу на процес МІК та наслідки залежать від виду клостридій. В цілому корозійну небезпеку для металевих покриттів виявляють продукти метаболізму клостридій, прослідковується синергізм між *Clostridium* sp. та СВБ, що сприяє підвищенню корозійної агресивності середовища.

Література

1. Мікробна корозія підземних споруд / [Андреюк К.І., Козлова І.П., Коптєва Ж.П., Піляшенко-Новохатний А.І., Заніна В.В., Пуріш Л.М.]. - Київ: Наук. думка, 2005. – 258 с.

2. Экология микроорганизмов /А.И. Нетрусов, Е.А. Бонч-Осмоловская, В.М. Горленко и др.; Под ред. А.И.Нетрусова. – М.: Издательский центр «Академия», 2004. – 272 с.
3. Das D. Hydrogen production by biological processes: a survey of literature / D. Das, T.N. Veziroglu // Int. J. Hydrog. Energy. – 2001. – Vol. 26, N 1. – P. 13–28.
4. Cloete T.E. The dominant sulphide-producing bacteria isolated from industrial cooling-water systems / T.E. Cloete, E.E. De Bruyn // Boucher A., Chandra M., Edyvean E. Biodeterioration and Biodegradation. - Institution of Chemical Engineers, Rugby (UK), 1995. – P. 507-511.
5. Bala D.D. Effect of anaerobic microbial corrosion on the surface film formed on steel / Bala D.D., Chidambaram D. // ECS Transactions. – 2014. – Vol. 58 (41). - P. 137-149.
6. Bryant R.D. The role of hydrogenase in anaerobic biocorrosion / Bryant R.D., Laishley E.J. // Can. J. Microbiol. – 1990. - № 36. – P. 259-264.
7. Herro H.M. The Nalco guide to cooling water system failure analysis / Herro H.M., Port R.D. - New York: McGraw-Hill, 1993. – 460 p.
8. AlAbbas F.M. Microbial Corrosion in Linepipe Steel Under the Influence of a Sulfate-Reducing Consortium Isolated from an Oil Field / AlAbbas F.M., Williamson Ch., Bhola Sh.M., Spear J.R., Olson D.L., Mishra B., Kakpovbia A.E. // Journal of Materials Engineering and Performance. – Nov. 2013. - Vol. 22, Issue 11. – P. 3517-3529.
9. Monroy R.O.A. Corrosion of API XL 52 steel in presence of *Clostridium celerecrescens* / O.A.R. Monroy, M.J.H. Gayosso, N.R. Ordaz, G.Z. Olivares, C.J. Ramirez // Materials and Corrosion. – 2011. – Vol. 62, No. 9. – P. 878-883.
- 10.Oliveira V.M. Molecular analysis of microbial diversity in corrosion samples from energy transmission towers / Oliveira V.M., Lopes-Oliveira P.F., Passarini M.R.Z., Menezes C.B.A., Oliveira W.R.C., Rocha A.J., Sette L.D. // Biofouling. - April 2011. - Vol. 27, No. 4. – P. 435–447.
- 11.Agrawal A., Vanbroekhoven K., Lal B. Diversity of culturable sulfidogenic bacteria in two oil–water separation tanks in the north-eastern oil fields of India / Agrawal A., Vanbroekhoven K., Lal B. // Anaerobe. – 2010. - No 16. – P. 12–18.
- 12.Ilhan-Sungur E. Isolation of a sulfide-producing bacterial consortium from coolingtower water: Evaluation of corrosive effects on galvanized steel / Ilhan-Sungur E., Ozuolmez D., Zotuk A., Cansever N., Muyzer G. // Anaerobe. – 2017. - N 43. – P. 27-34.
- 13.Yan-Ying Qiu. A high-rate sulfidogenic process based on elemental sulfur reduction: cost-effectiveness evaluation and microbial community analysis / Yan-Ying Qiu, Jia-Hua Guo, Liang Zhang, Guang-hao Chen, Feng Jiang // Biochemical Engineering Journal. - 15 December 2017. – Vol. 128. – P. 26-32.
- 14.Pope D.H. Microbially influenced corrosion of industrial alloys / Pope D.H., Duquette D.J., Johannes A.H., Wayner P.C. // Mat. Perform. – 1984. - № 23. - P. 14-18.
- 15.Beech I.B. Recent advances in the study of biocorrosion: an overview / Beech I.B., Gaylarde Ch.C. // Rev. Microbiol. – 1999. - Vol.30, No3. - P.117-190.
- 16.Fuchs A.-R. The Availability of Sulphur for *Clostridium perfringens* and an Examination of Hydrogen Sulphide Production / Fuchs A.-R., Bonde G.J. // J. gen. Microbiol. -1957. – N 16. - P. 330-340.
- 17.Zhu X.Y. Characterization of Microbial Communities in Gas Industry Pipelines / Zhu X.Y., Lubeck J., Kilbane II J.J. // Applied and Environmental Microbiology. – 2003. - Vol. 69, No. 9. - P. 5354–5363.
- 18.Clarke B. Microbiologically Influenced Corrosion in Fire Protection Systems / Clarke B. // Fire Protection Engineering, Society of Fire Protection Engineers. - Winter 2001. - No. 9. – P. 14-16.