

УДК 576.8:620.193.81

В. О. Іваниця, д-р біол. наук, проф., **Т. В. Васильєва**, канд. біол. наук, ст. наук. співроб., **Н. Ю. Васильєва**, інж., **Н. Г. Юргелайтіс**, ст. наук. співроб., **А. М. Хитрова**, наук. співроб., **О. І. Ржепішевська**, асп., **А. В. Безкровний**, студ.

Одеський національний університет ім. І. І. Мечникова,
кафедра мікробіології і вірусології;
вул. Дворянська, 2, Одеса, 65026, Україна

КІЛЬКІСНИЙ ТА ЯКІСНИЙ СКЛАД МІКРОБІОТИ ТРУБОПРОВОДІВ ОДЕСЬКИХ ТЕПЛОВИХ МЕРЕЖ

Визначено кількість і вивчено якісний склад мікробіоти корозійного нальоту трубопроводів Одеських теплових мереж. Виявлено всі основні групи мікроорганізмів, що є збудниками аеробної й анаеробної корозії металевих виробів. Виявлено домінуючі групи бактерій, що живуть у корозійному нальоті. Чисельність і склад мікроорганізмів у трубопроводах різних котельень м. Одеси практично не відрізняються. Отримані результати дозволили запропонувати схему розвитку корозійного процесу у трубопроводах Одеських теплових мереж.

Ключові слова: теплові мережі, корозія мікробіологічна і хімічна

Протягом всієї історії існування централізованого теплопостачання велика кількість систем стала об'єктом енергетичних втрат або корозії, що руйнує труби. Корозія теплових мереж може бути викликана не тільки наявністю у воді розчиненого кисню, але і мікроорганізмами, що живуть усередині системи і здатні завдавати їй серйозних ушкоджень. На сьогодні доведена першорядна роль мікроорганізмів у розвитку процесу корозії металевих і неметалевих виробів [1—7].

Множинність основних видів мікробної корозії металів і захисних матеріалів свідчить про надзвичайно велике поширення корозійних явищ у різних об'єктах господарської діяльності, в природних і штучних екосистемах.

В корозійних процесах беруть участь мікроорганізми різних систематичних груп: це бактерії, що утворюють азотну і сірчану кислоти, окиснюють метан, а також залізобактерії, гриби і водорості. В більшості випадків мікроорганізми в результаті своєї життєдіяльності утворюють агресивні середовища, в яких прискорюються процеси корозії.

Корозія металів, яка є результатом діяльності бактерій, може відбуватися в аеробних і анаеробних умовах. Активними збудниками аеробної корозії є тіонові, нітрифікуючі, залізобактерії, а також інші мікроорганізми, які утворюють продукти корозії. Найбільш активними агентами аеробної мікробіологічної корозії є тіонові і нітрифікуючі бактерії, що створюють кислі агресивні середовища. Основні збудники анаеробного корозійного процесу — сульфатредуючі бактерії.

У зв'язку з вищевикладеним метою цієї роботи було визначення чисельності та складу мікробного пейзажу корозійних відкладень трубопроводів Одеських теплових мереж.

Матеріали і методи

Об'єктом дослідження були мікроорганізми, що живуть у корозійному нальоті трубопроводів Одеських теплових мереж. Корозійний наліт для мікробіологічного дослідження відбирали після закінчення опалювального сезону на різних ділянках трубопроводів котельні «Центральна» (проби 1—2) і «Південна» (проби 3—4); проби 5.1—5.4 відібрані з труби котельні селища Котовського. При вивченні мікробного пейзажу корозійного матеріалу керувалися методиками, викладеними в монографіях Е. І. Андреюк зі співавторами [1, 3].

Для виділення бактерій, що беруть участь у першій фазі нітрифікації, використовували середовища Виноградського «а» і «б»; нітрифікуючі бактерії, що беруть участь у другій фазі нітрифікації, виділяли на середовищі Уотсона і Ватербурі [1—3, 6].

Тіонові бактерії виділяли з використанням середовищ Бейеринка (рН 8,5—9,0); Ваксмана і Леттена (рН 3,5—4,0). Перерахованих вище середовищ з широким діапазоном рН і різним мінеральним складом достатньо для виділення основних представників роду *Thiobacillus*, відповідальних за мікробіологічну корозію металевих виробів [1, 4, 8].

Наявність залізобактерій визначали, використовуючи середовища Вольфа, Ліске, Виноградського і Тайлера [1, 3, 8, 9].

Сульфатредуючі бактерії, які є основними агентами анаеробної корозії, виділяли на селективних середовищах Ван-Дельдена, Рубенчика, Старкей, Таусона, Постгейта «В» і «С», а також Баарса [1, 3, 8, 9].

Визначення чисельності тіонових, нітрифікуючих і залізобактерій провадили шляхом висіву 0,1 мл досліджуваних проб (після їх розведення до 10^{-5} — 10^{-6}) на поверхню селективних агаризованих середовищ. Чашки з посівами інкубували у термостаті при 28—30 °С протягом 5—7 днів.

Визначення чисельності анаеробних сульфатредуючих бактерій провадили на селективних агаризованих середовищах при використанні методу глибинного посіву. Чашки з посівами інкубували при 30 °С протягом 10—14 діб. Про наявність сульфатредуючих бактерій судили за появою темних колоній всередині агару.

Результати та їх обговорення

У вивчених пробах корозійного нальоту виявлені всі основні групи мікроорганізмів, відповідальні за розвиток корозійного процесу металевих виробів: нітрифікуючі, тіонові, сульфатредуючі та залізобактерії.

В усіх зразках досліджуваного корозійного матеріалу виявлені представники родів *Nitrosomonas* і *Nitrobacter*, які здійснюють першу

($\text{NH}_4 \rightarrow \text{NO}_3$) і другу ($\text{NO}_2 \rightarrow \text{NO}_3$) фази нітрифікації. Чисельність нітрифікуючих бактерій, незалежно від фази нітрифікації, місця отримання корозійного матеріалу і середовища культивування, була значною і складала $3,6 \times 10^8 - 4,0 \times 10^6$ колонієутворюючих одиниць у 1 мл — КУО/мл (табл. 1). З усіх взятих на аналіз зразків корозійного нальоту вдалося ізолювати залізобактерії; при цьому домінували представники р. *Shaerophilus* і залізовідновлюючі бактерії, які виявлені в кількості $4,8 \times 10^6 - 8,0 \times 10^6$ КУО/мл (табл. 1).

Таблиця 1
Кількісний (КУО/мл) і якісний склад мікробіоти корозійного матеріалу тепломереж м. Одеси

Якісний склад мікробіоти корозійного матеріалу	Зразки корозійного матеріалу та кількість КУО на 1 мл розведеної проби							
	1	2	3	4	5.1	5.2	5.3	5.4
Нітрифікуючі I фаза, $\times 10^8$	17,0	4,0	42,0	12,0	16,0	6,0	4,0	36,0
Нітрифікуючі II фаза, $\times 10^8$	16,0	18,0	14,0	7,0	15,0	80,0	8,0	15,0
Сульфатредуючі, $\times 10^7$	33,0	19,0	8,0	2,0	4,0	10,0	7,0	26,0
Залізовідновлюючі бактерії, $\times 10^6$	2,0	1,0	32,0	32,0	39,0	35,0	14,0	16,0
Залізобактерії, середовище Ліске, $\times 10^6$	0,2	0,1	0,3	0,2	1,8	0,7	0,3	1,1
р. <i>Cladothrix</i> , $\times 10^6$	1,0	1,0	0,9	0,7	1,2	1,0	0,72	1,4
р. <i>Shaerophilus</i> , $\times 10^6$	2,0	1,0	3,2	3,2	3,9	3,5	1,4	1,6
р. <i>Siderocapsa</i> , $\times 10^4$	2,0	4,0	-	-	0,03	2,0	1,0	8,5
Тіонові, середовище Ваксмана, $\times 10^5$	2,0	4,0	44,0	32,0	400,0	52,0	28,0	600,0
Тіонові, середовище Бейеринка, $\times 10^3$	9,0	0,2	48,0	35,0	128,0	1,0	25,0	7,0

У пробах корозійного матеріалу № 1—4 кількісний розподіл виявлених бактерій виглядав так: р. *Shaerophilus* > залізовідновлюючі бактерії > р. *Cladothrix* > залізобактерії, що ростуть на середовищі Ліске > р. *Siderocapsa*. Розподіл чисельності залізобактерій, ізолюваних із проб корозійного матеріалу № 5.1—5.4, був трохи іншим: залізовідновлюючі бактерії > залізобактерії, що ростуть на середовищі Ліске > р. *Cladothrix* > р. *Siderocapsa*.

Згідно з отриманими даними, чисельність нейтрофільних тіонових бактерій у корозійному нальоті, незалежно від місця добору проби, була незначною і коливалася від $0,2 \times 10^3$ до $12,8 \times 10^3$ КУО/мл (табл. 1). У той же час кількість ацидофільних тіобактерій на 2 порядки перевищувала чисельність тіонових бактерій, що ростуть на середовищі Бейеринка; їх кількість у пробах № 1—5.1 і 5.3 знаходилася в межах $2,0 \times 10^5 - 2,8 \times 10^5$ КУО/мл. В пробах корозійного

матеріалу № 5.2 і 5.4 кількість ацидофільних тіонових бактерій була в 10 разів вищою, ніж в інших пробах, і складала $52,0 \times 10^6$ і $60,0 \times 10^6$ КУО/мл відповідно (табл. 1).

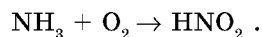
В умовах наших експериментів сульфатредуючі бактерії були виявлені в усіх пробах корозійного матеріалу. Поява темних колоній, які характерні для представників сульфатредуючих бактерій, була зареєстрована на агаризованих середовищах Баарса, Постгейта «В» і «С», Таусона, Ван-Дельдена, Рубенчика, Старкей і на середовищах, які використовувалися для виділення представників роду *Desulfovibrio*. Чисельність сульфатредуючих бактерій у досліджуваному корозійному матеріалі знаходилася в межах від $3,3 \times 10^7$ КУО/мл до $0,3 \times 10^7$ КУО/мл (табл. 1). Незалежно від середовища, яке використовувалося, максимальна кількість сульфатредуючих бактерій — $3,3 \times 10^7$ КУО/мл і $1,9 \times 10^7$ КУО/мл — була виявлена в пробах корозійного матеріалу № 1, 2; у зразках корозійного матеріалу № 5.4 їх кількість складала $2,6 \times 10^7$ КУО/мл (табл. 1).

Таким чином, під час діагностичного мікробіологічного обстеження визначено кількість і склад основних груп бактерій, що мешкають у корозійному матеріалі трубопроводів Одеських теплових мереж. Виявлено бактерії, які беруть участь у розвитку аеробного (нітрифікуючі, тіонові та залізобактерії) і анаеробного (сульфатредуючі бактерії) процесу корозії металевих виробів. Як показали наші дослідження, в пробах корозійного нальоту переважали збудники аеробної корозії.

Серед ізольованих бактерій, які живуть у трубопроводах Одеських котелень, домінували нітрифікуючі бактерії, здійснюючі I і II фази нітрифікації. Їх чисельність, незалежно від місця добору, складала $4,0 \times 10^8$ — $8,0 \times 10^9$ КУО/мл (табл.1). Кількість сульфатредуючих бактерій в корозійному матеріалі складала $0,2 \times 10^7$ — $3,8 \times 10^7$ КУО/мл. Наступними за чисельністю серед мікроорганізмів, які виділені з корозійного матеріалу, були залізоокиснюючі бактерії. В пробах 1 і 2 їх чисельність не перевищувала $2,0 \times 10^6$ КУО/мл; в інших пробах їх кількість досягала $3,9 \times 10^7$ КУО/мл.

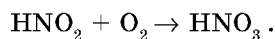
Мінімальною була кількість тіонових бактерій: $5,2 \times 10^5$ — $4,8 \times 10^3$ КУО/мл. У наших дослідженнях серед тіонових переважали ацидофільні представники р. *Thiobacillus*.

Теоретично обґрунтований і експериментально підтверджений численними дослідженнями [1—4] механізм мікробної корозії металевих труб, очевидно, справедливий і в даному випадку. Нітрифікуючі бактерії, які в наших дослідженнях домінують за чисельністю, в процесі життєдіяльності знижують рН шляхом утворення азотної кислоти окисненням аміаку, яке відбувається у дві фази [1, 2, 7, 8]. У першій фазі аміак окиснюється до азотистої кислоти:



Збудниками цієї фази нітрифікації є представники родів *Nitrosomonas* і *Nitrosocystis*, що ізольовані з усіх зразків корозійного

матеріалу. Друга фаза нітрифікації супроводжується окисненням азотистої кислоти до азотної:



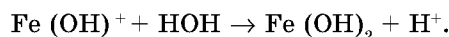
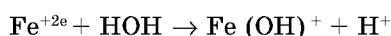
Цей процес ініціюється бактеріями роду *Nitrobacter*, які також були виявлені в усіх зразках корозійного нальоту, що досліджувався.

В результаті життєдіяльності нітрифікуючих бактерій насамперед прискорюється і підсилюється процес хімічної корозії завдяки утворенню агресивних середовищ. Утворення кислоти сприяє також перефікації поверхні труби.

Усе це створює умови для розвитку залізобактерій, що утворюють на внутрішній поверхні труби каверни, які являють собою нитковидні переплетені волокна колоній залізобактерій, насичені гранулами гідрату окису заліза. При цьому ділянка труби під каверною не промивається водою і слабо аерується. Внаслідок цього виникає різниця електричних потенціалів, що веде до додаткової втрати металевою поверхнею електронів і посилення процесу корозії.



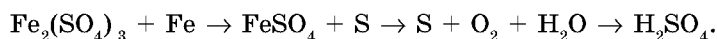
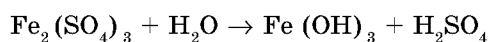
Відбувається вивільнення електронів, яке призводить до виходу Fe^{+2} з поверхні металу. При цьому іони заліза, потрапляючи в розчин біля анода, вступають у реакцію з водою й утворюють гідроокис заліза, тобто іржу:



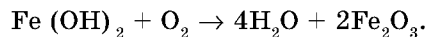
Наступна реакція переводить закисне залізо в окис заліза, випадання якого в осад у подальшому збільшує різницю потенціалів у системі «катод — анод».

Особливої уваги заслуговує велика фізіологічна група сульфатредукуючих бактерій — збудників анаеробного процесу корозії. Сульфатредукуючі бактерії родів *Desulfovibrio* і *Desulfomaculum* відповідають за відновлення сульфатів до сірководню і призводять до деполяризації поверхні металу.

В результаті метабіотичної діяльності сульфатредукуючих та тіонових бактерій сульфати перетворюються у вільну сірчану кислоту, яка прискорює процес корозії. Таким чином, тіонові бактерії також підвищують агресивність середовища і беруть участь у переробці заліза, яке утворюється в результаті життєдіяльності залізо- і сульфатредукуючих бактерій:



Гідроокис заліза, у свою чергу, під впливом залізобактерій може переходити в Fe_2O_3 :



Таким чином, проведена робота підтверджує наявні численні дані про ведучу роль мікроорганізмів у розвитку корозійного процесу в трубопроводах. Аналіз і узагальнення отриманих результатів підтверджують теоретичні викладки про наявність у трубопроводах Одеських теплових мереж усіх умов для розвитку корозійного процесу за участю фізико-хімічних і біологічних механізмів.

Література

1. Андреев Е. И., Козлова И. А. Литотрофные бактерии и микробиологическая коррозия. — К.: Наукова думка, 1977. — 163 с.
2. Каневская И. Г. Биологическое повреждение промышленных материалов. — Л.: Наука, 1984. — С. 148—155.
3. Микробная коррозия и ее возбудители / Е. И. Андреев, В. И. Билай, Э. З. Коваль, И. А. Козлова. — К.: Наукова думка, 1980. — 287 с.
4. Соколова Г. А., Каравайко Г. И. Физиология и геохимическая деятельность тионовых бактерий. — М.: Наука, 1964. — 335 с.
5. Lichtenstein S. Bacteria as a cause of corrosion. — *Corr. Prevent.* — 1968. — V. 15. — P. 21—23.
6. Postgate J. R. The microbiology of corrosion. — *Corrosion.* — 1963. — V. 1, N 2. — P. 51—64.
7. Rogers T. H. The promotion and acceleration of metallic corrosion by microorganisms. — *J. Inst. Metals.* — 1948. — V. 75. — P. 19—39.
8. Кузнецов С. И., Дубинина Г. А. Методы изучения водных микроорганизмов. — М.: Наука, 1989. — С. 146—157.
9. Методы общей бактериологии / Под ред. Ф. Герхарда. — М.: Мир, 1984. — С. 98—127.

**В. А. Иваница, Т. В. Васильева, Н. Ю. Васильева, Н. Г. Юргелайтис,
А. Н. Хитрова, Е. И. Ржепишевская, А. В. Бескровный**

Одесский национальный университет им. И. И. Мечникова, кафедра микробиологии и вирусологии;

ул. Дворянская, 2, Одесса, 65026, Украина

КОЛИЧЕСТВЕННЫЙ И КАЧЕСТВЕННЫЙ СОСТАВ МИКРОБИОТЫ ТРУБОПРОВОДОВ ОДЕССКИХ ТЕПЛОВЫХ СЕТЕЙ

Резюме

Определено количество и изучен качественный состав микробиоты коррозионного налета трубопроводов Одесских тепловых сетей. Обнаружены все основные группы микроорганизмов, которые являются возбудителями аэробной и анаэробной коррозии металлических изделий. Определены доминирующие группы бактерий, обитающих в коррозионном налете. Численность и состав микроорганизмов в трубопроводах различных котельных г. Одессы практически не отличаются. Полученные результаты позволили предложить схему развития коррозионного процесса в трубопроводах Одесских тепловых сетей.

Ключевые слова: тепловые сети, коррозия микробиологическая и химическая.

**V. O. Ivanitsa, N. G. Jurgilajtis, T. V. Vasyljeva, N. J. Vasyljeva,
A. N. Chitrova, E. I. Rzepisevskaja, A. V. Beskrovny**

Odessa National I.I. Mechnicov University, Department of Microbiology and
Virusology,
Dvoranska str., 2, Odessa, 65025, Ukraine

**QUANTITATIVE AND QUALITATIVE COMPOSITION OF
MICROBIOTA IN ODESSA HEATING SYSTEM TUBING**

Summary

The qualitative composition and quantity of microbiota in the thin corrosive coating of Odessa Heating System Tubing were defined and studied. The main groups of microorganisms causing aerobic and anaerobic corrosion of ironmongery were detected. The dominating groups of bacteria inhabiting in the thin corrosive coating were defined. The quantity and composition of microorganisms in different boiler-rooms' of Odessa Heating System Tubing were equal. Our data have confirmed that there are conditions for development of corrosive process simultaneously with biological and physico-chemical mechanisms in Odessa Heating System Tubing.

Key words: Odessa Heating System Tubing, process of microbial and chemical corrosions.