

Яковлєва П. А., магістрант;

Єфімов О. О., директор ПрАТ «ХПЗ», аспірант;

Саввова О. В., д-р. техн. наук;

Харківський національний університет міського господарства ім. О. М. Бекетова, м. Харків, Україна

Суліма Є. О., аспірантка;

Науково-дослідна установа «Український науково-дослідний інститут екологічних проблем», м. Харків, Україна

ЕКОЛОГІЧНИЙ ЗАХИСТ ІНФРАСТРУКТУРНИХ ОБ'ЄКТІВ ВІД МІКРОБІОЛОГІЧНИХ ЗАГРОЗ

Вступ

У сучасних умовах інтенсивного розвитку міст та ускладнення інфраструктурних систем усе більшої актуальності набуває проблема екологічного захисту від мікробіологічних загроз. До таких загроз належать як патогенні та умовно-патогенні мікроорганізми, що поширюються у повітрі, воді чи на поверхнях, так і мікробні спільноти, здатні спричиняти біодеструкцію матеріалів. Особливу небезпеку становлять мікробні ураження елементів критичної інфраструктури: у каналізаційних системах і колекторах активно розвиваються мікроорганізми, які провокують мікробіологічно індуковану корозію бетону, що призводить до втрати його міцності, скорочення терміну служби та значних економічних збитків [1, 2]. Додатковим чинником ризику є зниження ефективності локальних очисних споруд, адже накопичення біоплівки у стічних водах і недостатнє очищення зумовлюють наявність у водних системах високої концентрації мікроорганізмів, які негативно впливають на якість питної води та екологічний стан водойм [3].

Ще однією загрозою є зниження ефективності локальних очисних споруд. Накопичення біоплівки у стічних водах та недостатнє очищення зумовлюють наявність у водних системах високої концентрації мікроорганізмів, які можуть негативно впливати на якість питної води та екологічний стан водойм [3].

У масштабах урбанізованих територій мікробіологічні ризики поєднуються із соціальними та техногенними факторами. Збройні конфлікти й військові дії, які супроводжуються руйнуванням промислових та інфраструктурних об'єктів, призводять до різкого погіршення екологічного стану територій і створюють умови для неконтрольованого поширення мікроорганізмів [6]. Таким чином, мікробіологічні

загрози слід розглядати не лише як локальну санітарну проблему, а й як складову екологічної та національної безпеки.

Аналітичний огляд

Міське середовище сьогодні створює сприятливі умови для розвитку різноманітних мікробіологічних загроз, що впливають як на стан інфраструктури, так і на здоров'я населення. Основними природними джерелами забруднення є біоплівки, що формуються на внутрішніх поверхнях трубопроводів, насосних станцій та резервуарів водопостачання. Такі біоплівки складаються з бактерій, грибів і водоростей, які сприяють корозії бетонних та металевих конструкцій і можуть бути джерелом патогенів, зокрема *Legionella pneumophila*, що викликає легіонельоз [1]. Цвілеві гриби, такі як *Aspergillus*, *Penicillium* та *Cladosporium*, активно ростуть на вологих стінах та стелях, викликаючи алергічні реакції, астму та інші респіраторні захворювання. За даними польових досліджень, підвищений рівень цвілі спостерігається у близько 30% житлових і громадських будівель України [1].

Антропогенні фактори, серед яких ключову роль відіграють неочищені стічні води та техногенні аварії, значно впливають на поширення патогенних мікроорганізмів, таких як *Escherichia coli*, *Salmonella* та *Vibrio cholerae* [3]. Неочищені або частково очищені стоки призводять до забруднення локальних водних систем, сприяють розвитку біоплівок і біокорозії у каналізаційних мережах, а аварійні викиди токсичних речовин можуть стимулювати мутації мікроорганізмів та підвищувати їх стійкість до антибіотиків [6]. В умовах воєнних дій руйнування водопровідної та каналізаційної інфраструктури підвищує ризики локальних спалахів інфекційних захворювань, що підтверджується зростанням випадків холери та дизентерії у постраждалих регіонах [6].

Біокорозія бетонних конструкцій у каналізаційних колекторах є одним із найпоширеніших наслідків мікробіологічного впливу. Мікроорганізми продукують органічні кислоти та ферменти, які руйнують цементну матрицю, знижуючи міцність і довговічність споруд. За даними польових і лабораторних досліджень, швидкість біокорозії може досягати 0,5–1,0 мм на рік, що суттєво скорочує ресурс бетонних конструкцій [2]. Погіршення якості води в локальних очисних системах посилює утворення біоплівок, а на поверхнях будівель цвілеві гриби та бактерії спричиняють руйнування оздоблення і зниження експлуатаційної цінності споруд [2; 3].

Сучасні підходи до екологічного захисту інфраструктурних об'єктів спрямовані на запобігання негативним наслідкам мікробіологічних загроз і включають кілька

напрямів. Моніторинг і превентивні заходи дозволяють своєчасно виявляти патогенні мікроорганізми та оцінювати ефективність очищення стічних вод за допомогою біосенсорів та мікроскопічних методів аналізу активованого мулу [3]. Антимікробні покриття, зокрема глазуровані керамічні поверхні з біоцидними або нанодобавками, інгібують розвиток патогенних спільнот, запобігають утворенню біоплівки і біокорозії, забезпечуючи довгостроковий захист інфраструктури [4; 5].

Інноваційні наноматеріали, зокрема оксид цинку (ZnO) та діоксид титану (TiO₂), забезпечують помірну антибактеріальну активність та фотокаталітичне руйнування клітин бактерій, таких як *Escherichia coli* та *Staphylococcus aureus*, підвищуючи стійкість покриттів і експлуатаційні характеристики матеріалів [7; 8]. Розробка таких екологічно безпечних керамічних плиток дозволяє поєднувати високі технічні показники з мінімальним впливом на довкілля, що відповідає сучасним ринковим і технічним вимогам [5]. На ПрАТ «ХПЗ» (Компанія Golden Tile) впроваджені інноваційні напрямки впровадження засад «зеленої хімії», які полягають у розробці технології виробництва керамічної плитки однократного випалу, високими біоцидними властивостями та здатністю до легкого очищення (рис.1). Визначено екологічну безпечність застосування склокристалічних матеріалів як засіб захисту об'єктів життєдіяльності людей від негативного впливу патогенних мікроорганізмів та забезпечення гігієнічних нормативів в умовах пандемії.

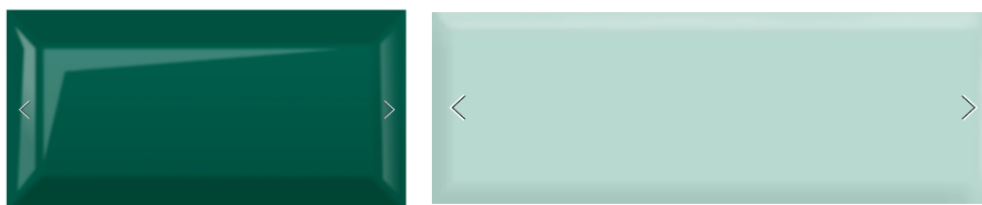


Рисунок 1 – Плитка стінова The Wall м'ятний та зелений виробництва Golden Tile

Розроблено цілісний системний підхід забезпечення надійного пролонгований захисту навколишнього середовища від патогенних мікроорганізмів в умовах техногенного навантаження та епідеміологічної загрози, який включає розробку екологічно безпечних склокристалічних покриттів та оцінку їх впливу на якість стічної води та водні організми з урахуванням виключення небезпечного впливу на навколишнє середовища [6-8].

Перспективи розвитку екологічного захисту полягають у поєднанні інтелектуального моніторингу та антимікробних матеріалів. Інтелектуальні системи біомоніторингу дозволяють оперативно відстежувати стан мікробіологічного

забруднення та запобігати розвитку патогенних спільнот [3]. Міжнародна співпраця у сфері екологічної та біологічної безпеки набуває особливого значення в умовах війни та техногенних загроз, які руйнують природні та штучні екосистеми та сприяють поширенню патогенів [6]. Такий комплексний підхід забезпечує довгостроковий захист інфраструктури, підвищує безпеку міського середовища та зменшує ризики для здоров'я населення.

Висновки

Сучасне міське середовище створює сприятливі умови для розвитку мікробіологічних загроз, що негативно впливають на інфраструктуру та здоров'я населення. Основними джерелами забруднення є природні біоплівки та цвілеві гриби, антропогенні фактори, такі як неочищені стічні води та техногенні аварії, а також руйнування інфраструктури внаслідок воєнних дій. Біокорозія бетонних конструкцій і руйнування поверхонь будівель призводять до скорочення терміну служби об'єктів та підвищення ризику поширення патогенів [1–3, 9]. Сучасні підходи до екологічного захисту, зокрема використання моніторингу, антимікробних і наноматеріалів у керамічних покриттях, дозволяють ефективно запобігати розвитку патогенів, зменшувати біокорозію і підвищувати довговічність інфраструктури [4, 9-11]. Інтеграція інтелектуальних систем моніторингу та впровадження екологічно безпечних антимікробних матеріалів забезпечує комплексний підхід до захисту міського середовища, підвищує його безпеку та знижує ризики для здоров'я населення.

Література

1. Sawyer WE, Izah SC, Richard G, Ogwu MC (2023) Microbial Air Contaminants: Diversity and Health Effects. *Ann Public Health Res* 10(1): 1120.
2. Kaushal V., Najafi M. Investigation of Microbiologically Influenced Corrosion of Concrete in Sanitary Sewer Pipes and Manholes: Field Surveys and Laboratory. *Assessment Advances in Environmental and Engineering Research*. 2022. vol. 3, iss. 2.
3. Karczmarczyk A., Kowalik W. Combination of Microscopic Tests of the Activated Sludge and Effluent Quality for More Efficient On-Site Treatment // *Water*. 2022. Vol. 14. P. 489.
4. Reinoso J. J., Enríquez E., Fuertes V., Liu S., Menéndez J., Fernández J. F. The challenge of antimicrobial glazed ceramic surfaces // *Ceramics International*. 2022. Vol. 48(6). P. 7393–7404.

5. Zanatta T., Antunes Boca Santa R. A., Padoin N., Soares C. Gracher H. Riella Eco-friendly ceramic tiles: development based on technical and market demands. *Journal of materials research and technology*. 2021. Vol. 11 (121). P. 134.
6. Savvova O.V., Shevetovsky V.V., Pokroeva Ya.O., Zinchenko I.V., Babich O.V., Voronov H.K. Development of antibacterial glazing for ceramic tiles. *Voprosy khimii i khimicheskoi tekhnologii*. 2022. №. 3. P. 60–66.
7. Savvova O., Pokroieva Ya., Voronov H., Babich O., Smyrnova Yu. Antibacterial Matte Glass-Ceramic Coatings with Satin Texture for Ceramic Tiles. *Chemistry & Chemical Technology*. 2023. Vol. 17, No. 3. P. 655–663.
8. Pokroeva Ya., Savvova O., Voronov H., Fesenko O., Khrystych O. Biocidal protective glass-ceramic coatings for porcelain stoneware. *Lecture Notes in Networks and Systems*. 2023. Vol. 808. P. 391–402.
9. Leal Filho W., Fedoruk M., Henrique Paulino Pires Eustachio J., Splodytel A., Smaliychuk A., Szyrkowska-Jóźwik M. I. The environment as the first victim: The impacts of the war on the preservation areas in Ukraine. *Journal of Environmental Management*. 2024. Vol. 364. P. 121399.
10. Kim J., Jeong D., Choi J., Kim U. Changes in the glaze characteristics and moderate antibacterial activity of ceramic tile glazes with the addition of ZnO. *J. of Asian Cer. Soc.* 2022. Vol. 10(1). P. 241–252.
11. Maryani E., Nurjanah N., Hadisantoso E., Berliana R. The Effect of TiO₂ additives on the antibacterial properties (*Escherichia coli* and *Staphylococcus aureus*) of glaze on ceramic tiles. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2021. Vol. 980. 012011.