

Д. В. ГРЕЦЬКИЙ (ЧДТУ)

## НЕГАТИВНИЙ ВПЛИВ БІОКОРОЗІЙНИХ ПРОЦЕСІВ НА ЗАГЛИБЛЕНІ У СЛАБКІ ҐРУНТИ БУДІВЕЛЬНІ КОНСТРУКЦІЇ

Відзначено причини появи геоecологічних проблем підземного простору великих міст. Описані першопричини негативної дії біокорозії в ґрунтових умовах слабких ґрунтів, також приводиться характеристика негативного впливу біокорозії на будівельні конструкції, занурені в ґрунтову товщу. Рекомендуються варіанти дій щодо захисту будівельних конструкцій від біокорозії як конструктивні, санітарно-гігієнічні так і хімічні.

Отмечены причины появления геоecологических проблем подземного пространства больших городов. Описаны первопричины негативного воздействия биокоррозии в ґрунтовых условиях слабых ґрунтов, также приводится характеристика негативного влияния биокоррозии на строительные конструкции, погруженные в ґрунтовую толщу. Рекомендуются варианты действий для защиты строительных конструкций от биокоррозии как конструктивные, санитарно-гигиенические, так и химические.

The article enlists the reasons of occurrence of environmental problems in the underground space of big cities, describes the origins of the negative influence of bio-corrosion in conditions of weak soils, gives characteristics of the influence of a negative state of bio-corrosion on the building constructions submerged into the ground and recommends the options of protecting the building structures from bio-corrosion, including constructive, sanitary & hygienic and chemical measures.

Сучасні тенденції розвитку великих міст припускають інтенсивне освоєння їх підземного простору з метою розміщення комунікацій різного призначення, зокрема, інженерних і транспортних, культурних і торгових комплексів, ряду господарських і сервісних служб тощо.

У даний час підземний простір наших великих міст розглядається як природний ресурс, цивілізоване використання якого в значній мірі покращує середовище проживання людини, дозволяє максимально зберегти природні ландшафти і архітектурно-історичну зовнішність міст.

Під час освоєння і використання підземного простору наших мегаполісів принципове значення має аналіз його геоecологічного стану. При цьому в ході геоecологічної оцінки підземного простору необхідно розглядати сукупність і взаємну обумовленість процесів трансформації природної літо-, гідро- і біосфери під впливом інженерних робіт, функціонування надземних і підземних споруд, з урахуванням їх особливостей будівництва і експлуатації, що може призводити до зміни напруженого стану, зміни термодинамічної і гідродинамічної обстановки масивів ґрунтових порід [1].

Прогресуюче погіршення екологічної обстановки в підземному просторі міст супроводжується не тільки негативною трансформацією стану і властивостей слабких ґрунтів, але і підвищенням рівня агресивності підземного середовища по відношенню до будівельних ма-

теріалів, що використовуються в підземних конструкціях і інженерних комунікаціях.

Специфічне агресивне середовище, що формується в підземному просторі, сприяє розвитку біокорозії. Біокорозію спричиняють бактерії, гриби і актиноміцети, причому діяльність цих організмів, в більшості випадків, супроводить і підсилює хімічне, електрохімічне та інші види корозійного руйнування матеріалів. Відомо, що 50 % всіх втрат від корозії підземних споруд на міських територіях відбувається саме за рахунок біокорозії. До цього виду корозії схильні бетони, залізобетони і металеві конструкції, що використовуються для будівництва підземних споруд, зокрема, тунелів метро, крупних каналізаційних колекторів, опор мостів, конструкцій фундаментів та інших інженерних комунікацій.

Важливо відзначити, що біодеградація (біокорозія) будівельних матеріалів поки не враховується чинними будівельними нормами.

Мета даної статті:

- дати пояснення виникнення геоecологічних проблем підземного простору великих міст;
- описати передумови виникнення негативного екологічного стану ґрунтових умов, що складаються з слабого ґрунту, та дати характеристику впливу цього стану на підземні будівельні конструкції;
- дати можливі варіанти дій щодо захисту заглиблених у ґрунт будівельних конструкцій від несприятливого впливу біокорозії.

За рівнем особливо негативної і тривалої дії на екологічний стан підземного простору мегаполісів слід виділити вплив каналізаційних мереж. Починаючи з передісторії великих міст (XVII ст.) і до теперішнього часу каналізаційно-побутові стоки були основним забрудненням підземної літо- та гідросфери, а також поверхневих вод. Мало відомо, але регіональна каналізаційна система багатьох великих міст почала вводиться в експлуатацію тільки у середині 30-х рр. минулого сторіччя.

Протягом майже 200 років ці стоки скидалися практично без очищення в річкові мережі і канали міст. На цей час стан каналізаційних мереж в українських містах «мільйонерах» (наприклад, Запоріжжя, Дніпропетровськ) не можна визнати задовільним: велика довжина вуличних мереж вимагає повної заміни, мережі функціонують з постійними аваріями. Вплив забруднення підземного простору за рахунок витоків каналізаційної мережі може простежуватися на великій глибині, наприклад, більш ніж 50 м (Васильєвський острів у Санкт-Петербурзі) [2].

Тривалість і безперервність дії каналізаційно-побутових стоків сприяє глибокому перетворенню хімічного складу підземних вод, а також негативним змінам стану і властивостей слабких порід, що знаходяться на рівні водного горизонту. У товщі відкладень забруднених каналізаційно-побутовими стоками спостерігається формування відновлювального середовища за рахунок окислення органічних речовин. Прискорює і посилює подібну трансформацію підземного середовища повсюдне забруднення території міст нафтопродуктами, а також існування похованих звалищ побутового сміття і відходів виробництва, рідка фаза яких звичайно збагачена органічними сполуками. Грунтова вода також містить мікроорганізми – бактерії, грибки тощо. Позбавитися їх практично неможливо. Необхідна для життя бактерій органіка (речовини, що містять вуглець) присутня у каналізаційних системах, потрапляючи туди з окремими елементами системи (труби, клапани) у формі мастила та іншого або під час будівельних робіт (земля та інші забруднення), виділяючись також з пластмасових труб, епоксидних і гумових покриттів тощо.

Наукове пояснення виникнення біокорозії – це попадання в обводнені дисперсні породи мікробіотів з каналізаційними стоками і рідкою фазою побутових відходів, а також одночасне надходження різноманітних органічних і неорганічних сполук, які є живильними субстратами

для мікроорганізмів, продуктів їх метаболізму білкової і небілкової природи, подальше сорбування на мінеральних частинках дисперсних порід згідно з [3].

Швидкість руйнування практично всіх матеріалів, включаючи метали, полімери, будівельні конструкції, в біологічно активних середовищах більш ніж в 3 рази перевершує швидкість руйнування під дією звичайної електрохімічної корозії. Причина цього явища не тільки те, що мікроорганізми використовують компоненти, що входять до складу полімерів, металів і інших матеріалів як продукти харчування, як вже зазначалося вище, а й ферменти, що виробляються мікрофлорою в процесі життєдіяльності. Наприклад, ензими, амінокислоти значно збільшують швидкість електрохімічних процесів корозії, пористість, дефектність і неоднорідність структури полімерних матеріалів, сприяють наростанню внутрішніх напруг і мимовільному локальному розтріскуванню покриттів конструкцій.

Парадоксально, але хімічні адсорбенти, що використовуються для поглинання кисню (тобто для зменшення кисневої корозії), теж сприяють біокорозії, оскільки містять в своїй більшості органіку. Зрештою вона потрапляє з водою, наприклад, 3...5 мг вуглецю на літр (а це лише 3...5 кг на 1 000 м<sup>3</sup> води) достатньо для утворення солідної бактерійної плівки на матеріалі конструкції.

Один з гірших варіантів біокорозії виникає тоді, коли кисень потрапляє в звільнену від нього систему. Суміш продуктів біокорозії і кисню викликає значно вищі темпи корозії. Накопичення таких біомас призводить ґрунтові умови, а саме, піски в стан пливунів, а глинисті породи – в набрякаючий квазіпластичний стан. Глинисті породи під час взаємодії з каналізаційними стоками в більшості випадків переходять в текучий стан [4].

Активна мікробіологічна діяльність в анаеробних умовах, що виникає в результаті попадання рідкої фази каналізаційних витоків та побутових відходів у дисперсні умови, часто призводить до утворення біохімічних газів, збільшуючи тим самим небезпеку переходу водонасичених піщано-глинистих порід у рухомий стан, також це може сприяти їх розущільненню. Останнім часом наголошується активізація утворення у слабких ґрунтах наших міст газу-метану в результаті біокорозійних реакцій, в результаті цього – викиди газонасичених розріджених порід, самозапалювання метану, накопиченням газу в підвалах будівель. Генерація газів викликає істотні зміни напружено-деформованого стану в товщах слабких порід.

Стійкість матеріалів щодо біодеградації, можна характеризувати стійкістю їх до водопоглинання. Різні матеріали можуть адсорбувати пари води: своєю поверхнею; за рахунок великої мережі субмікроскопічних капілярів і відкритих пор; у матеріалах з водорозчинними наповнювачами відбувається осмотичне водопоглинання. Органічні матеріали володіють значним вологопоглинанням внаслідок міжмолекулярних проміжків. Речовини з впорядкованим розташуванням молекул володіють меншими вологопоглинанням. Також матеріали з грубою поверхнею здатні адсорбувати значно більшу кількість водяної пари за рахунок збільшення площі контакту. Великим вологопоглинанням володіють шаруваті пресовані матеріали типу гетинаксу, склотканини.

Об'ємне водопоглинання спостерігається у тих матеріалів, яким властива усадка (компаунди, віск) і у матеріалів, у яких з'являються пори за рахунок покриття їх розчинниками (лаками), що випаровуються, а також за рахунок здатності матеріалів віддавати або поглинати леткі речовини (пластики). Слід відмітити, що об'ємне поглинання води матеріалом небезпечніше, ніж адсорбція на поверхні, з тієї причини, що зворотний відтік вологи чи просушування практично неможливо.

Волога, що міститься у матеріалі включає як зв'язану (недоступну для мікроорганізмів), так і вільну (доступну) воду, а початок росту мікроорганізмів на гігроскопічних матеріалах відбувається за таким вмістом вологи, коли з'являється вільна, не зв'язана вода. Наприклад, деревина нижче за точку насичення волокна (30 % вологи) мікроорганізмами не ушкоджується, папір ушкоджується після насичення водою до 8...10 % [5].

Наслідки впливу біокорозії на конструкції можна назвати [6; 7]:

- втрата естетичних властивостей виробів (вони стають тьмяними, з плямистою поверхнею, втрачають природній колір);
- погіршення механічних властивостей і повне руйнування органічних речовин матеріалів конструкцій;
- погіршення діелектричних характеристик;
- активізація процесу корозії металевих деталей.

Згідно з [6–9] прийнято класифікувати ізоляційні матеріали на стійкі і нестійкі по відношенню до біокорозії. Невологостійкими і нестійкими матеріали щодо біокорозії можна назвати [8]:

- целюлоза, деревина хвойних і листяних порід, папери і картони з деревного, ганчіркового і інших волокон на основі целюлози, фібра;

- пластмаси з довговолокнутистим целюлозним або азбестовим наповнювачем (текстоліт, азботекстоліт, азбоцемент, волокніт, К-6, ВЭИ-11, лігнофоль, балініт, дельташпон), бавовняні тканини і пряжа, шовкові стрічки;

- клеї тваринні і рослинні, лаки масляні, полівініловий спирт;

- пластифікатори: діамілфталат, дібутілфталат, діоктилфталат.

Схильні до руйнування біокорозією за даними [6; 7; 9] такі матеріали:

- натуральний, бутадієнстірольний каучук;
- фенолоформальдегідні, меламіноформальдегідні смоли, нітроцелюлоза, полівінілацетат, похідні солей жирних кислот, нітролак, пластифікатори стеарин, ПДЭС-1, азбест М4-5, саж ДТ-100 і БС-120, наповнювач кераген;

- масла і мастила: технічний вазелін, ВСХВ, ПВК, 33-Т, 39-У, ЛПІ-364, ЛПІ-244;

- мильні мастила: ЦІАТІМ-201, ЯНЗ-2, 1-13, ЦНІКОЛ-1 ВР-44, МР-2-ЕР, Miltis RT-35, ВС-3, АР-6, Baragel grease;

- компоненти змащувальних матеріалів: озокерит, церезин, окислений петролатум, масло Б-3В, ціаніди, цинкові покриття, каніфоль.

Матеріали з високою вологостійкістю і стійкістю до дії біокорозії в несприятливих умовах та під дією агресивних умов [8].

Поліетилен, фторопласт 4 (тефлон), поліізобутилен і поліпропілен, полістирол, полівінілхлорид і полівініліденхлорид, органічне скло, феноло- і крезоло-формальдегіди, пластмаси, смоли меламіно-формальдегідів, смоли аніліно-формальдегідів, смоли мочевино-формальдегідів, ебоніт, епоксидні смоли, триацетат і ацетобутират целюлози, кремнійорганічні смоли, каучуки, вископлавкі бітуми, пластифікатори – похідні адіпінової і фосфорної кислоти і хлоровані вуглеводні.

Стійкість до дії мікроорганізмів пластмас обумовлена стійкістю в'язучого, наповнювачів, пластифікаторів і інших компонентів. Деякі автори вказують на те, що пластмаси уражаються мікрогрибами за рахунок їх гетерогенності [9].

## Висновки

Оскільки біокорозія визначається біологічними процесами (складнішими і менш передбаченими порівняно з хімічними), вона є складнішою. І боротьба з нею це досить складна проблема, особливо в умовах залягання слабого ґрунту.

Для запобігання біокорозії застосовуються такі заходи (конструктивні, санітарно-гігієнічні, хімічні) [6; 7; 10]:

- часткова або повна герметизація конструкцій з метою запобігання попаданню вологи зі сторони ґрунту;

- зниження нерівності і пористості поверхні;
- придання поверхні водовідштовхувальних властивостей;
- використання біостійких матеріалів;
- введення біоцидів і фунгіцидів в нестійкі матеріали;
- у разі використання для захисту матеріалів конструкцій речовин на основі целюлози необхідна їх стерилізація або просочення біоцидами (леткими фунгіцидами і інгібіторами корозії – це можуть бути нітрит циклогексиламіна або метанітробензоат гексаметіленаміна), оскільки нестерильні папір, картон та інші завжди схильні до зараження спорами грибів.

Біохімічно стійкі захисні покриття дозволяють продовжити термін служби елементів будівельних конструкцій з чорних металів з 2...3 до 10...15 років, замінити алюміній і нержавіючу сталь на більш дешевшу вуглецеву сталь, яка в 6...7 разів дешевше.

Згідно з [11] експериментально встановлено поліпшення властивостей ізоляційних полімерних стрічок для антифрикційного захисту конструкцій в умовах слабого ґрунту, у разі з'єднання їх за допомогою своїх липких сторін, що попередньо влаштовані, або з'єднання за допомогою клею, що стійкий до біодеградації. Адгезія в напусканні при цьому збільшується більш ніж у 5 разів, водопроникність зменшується більш ніж в 2 рази.

З урахуванням сказаного, при освоєнні слабого ґрунтового простору мегаполісів в умовах наростаючої напруженості і погіршення екологічної ситуації, особлива увага повинна бути приділена проблемі вибору будівельних матеріалів, що стійкі в умовах високої агресивності ґрунтового середовища і таких, що забезпечують надійність експлуатації підземних споруд і комунікацій. Будівництво, експлуатація, реконструкція і реставрація підземних споруд в складній геологічній обстановці повинно вимагати індивідуального підходу і проведення комплексних нетривіальних досліджень за спе-

ціально розробленими програмами. Тільки на основі таких досліджень може бути гарантована надійність проектних рішень і забезпечення довговічності всіх типів міських, промислових, транспортних споруд, а також пам'яток культури і архітектури.

#### БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Справочник проектировщика. Градостроительство. (Охрана окружающей среды). – М.: Стройиздат, 1986. – 520 с.
2. Карамазинов Ф. М. Проблемы водопроводно-канализационного хозяйства Санкт-Петербурга / Ф. М. Карамазинов, С. Г. Гумен // Научные и технические аспекты окружающей среды, ВИНТИ, – 1995. – № 3. – С. 24–28.
3. Рачев Х. В. Справочник по коррозии / Х. В. Рачев, С. И. Стефанова. – М.: Мир, 1982. – 380 с.
4. Дашко Р. Э. Эволюция геозекологического состояния подземного пространства Санкт-Петербурга / Р. Э. Дашко, Л. П. Норова, Е. С. Руденко // Разведка и охрана недр, 1998. – № 7, 8. – С. 57–59.
5. Ильичев В. Д. Биоповреждения / В. Д. Ильичев, Б. В. Бочаров, А. А. Анисимов. – М.: Химия, 1987. – 200 с.
6. Ильичев В. Д. Экологические основы защиты от биоповреждений. – М.: Химия, 1985. – 316 с.
7. Андреюк Е. И. Микробная коррозия и ее возбудители. – М.: Химия, 1980. – 318 с.
8. Яманов С. А. Новые электроизоляционные материалы и проблемы надёжности. – М.: Стройиздат, 1971. – 68 с.
9. Белоконь Н. Ф. Влияние биокоррозии на некоторые свойства пластических масс // Пластические массы, 1972. – № 7. – С. 3–7.
10. Войтович В. А. Биологическая коррозия / В. А. Войтович, Л. Н. Мокеева. 1980. – № 10. – С. 3–5.
11. Мустафин Ф. М. Исследование адгезии и водопроницаемости у полимерных изоляционных лент и обёрток с двусторонним липким слоем / Ф. М. Мустафин, Р. А. Харисов, И. Р. Фархетдинов // Сооружение и ремонт газонепроводов и газонепрозрачных труб: Сб. науч. трудов – Уфа: Изд-во УГНТУ, 2002. – С. 161–167.

Надійшла до редколегії 14.10.2005.