

ВОДОПОСТАЧАННЯ ТА ВОДОВІДВЕДЕННЯ

УДК 628. 33

Саблій Л. А., д.т.н., професор (Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне)

ВИКОРИСТАННЯ ГІДРОБІОНТІВ ДЛЯ ОЧИЩЕННЯ СТІЧНИХ ВОД ВІД ОРГАНІЧНИХ ЗАБРУДНЮЮЧИХ РЕЧОВИН

Наведено результати досліджень гідробіоценозу аноксидного та аеробного біореакторів при очищенні висококонцентрованих стічних вод. Встановлено концентрації біомаси в анаеробному ступені – до 20 г/дм³, аеробному – до 3 г/дм³, зольність досягає 50-60%.

Ключові слова: стічні води, біологічне очищення, біореактор.

У процесах біологічного очищення висококонцентрованих стічних вод, зокрема промислових підприємств харчової та легкої галузей, основну роль відіграють мікроорганізми, які поселяються в очисній споруді і використовують в процесі своєї життєдіяльності речовини, які містяться в стічній воді. В активному мулі – це бактерії родів *Pseudomonas*, *Bacterium*, *Micrococcus*, *Bacillus*, *Corinebacterium*, *Thiobacillus* та ін., які здійснюють деструкцію складних органічних речовин, азотвмісних сполук.

Для біоценозів іммобілізованих гідробіонтів та вільноплаваючого активного мулу аноксидних і аеробних біореакторів технології анаеробно-аеробного очищення стічних вод, яку було впроваджено на ряді підприємств харчової та легкої галузей [1], характерна наявність численних бактерій роду *Pseudomonas*, які окиснюють спирти, жирні кислоти, парафіни, ароматичні вуглеводні, вуглеводи та родів *Nitrosomonas*, *Nitrobacter*, які здійснюють процес нітрифікації. Крім бактерій, важливу роль відіграють безхребетні, водорості, гриби, мікроскопічні тварини, які утворюють гідробіоценози очисних споруд. Від того, які забруднюючі речовини містяться в стічній воді і в яких концентраціях, які умови створюються і підтримуються у споруді: анаеробні, аноксидні чи аеробні; в яких місцях можуть поселятися гідробіонти: в товщі води на частинках активного мулу, на поверхні завантаження чи носія, залежить видовий і чисельний склад гідробіоценозу.

Для досліджень використовували методи гідробіологічного аналізу мікроорганізмів біоценозів, що утворювались в окремих біореакторах, за допомогою біологічного тринокулярного мікроскопа дослід-

ницького класу з фото/відео виходом «XSP – 139TP» (виробництва компанії JNOEC) із збільшенням 40x – 1500x.

Спостереження за мікроорганізмами (інфузоріями, коловертками та іншими) здійснювали в свіжій пробі води з біореакторів (не пізніше, ніж за 30 хв після відбору проби води зі споруди), поки організми зберігали фізіологічний стан, характерний для їх перебування в споруді. Основний спосіб спостереження – розглядання об'єктів у живому стані в краплі води з часточкою носія з біообростанням, покритій покритим скельцем, під малим і великим збільшенням мікроскопа (200x, 400x, 600x). При цьому звертали увагу на форму, розміри, морфологічні особливості, характер поведінки мікроорганізмів: рухливість, активність роботи війок (у інфузорій), коловертного апарата (у коловертки), наявність і кількість органел, характерних для особин, які досліджуються, та ін.

Досліджували мікроорганізми вільноплаваючого, гранульованого активного мулу і біообростань на ВІАх.

Для ідентифікації мікроорганізмів використовували визначники родів і описи видів гідробіонтів, що беруть участь у процесі біологічного очищення стічних вод на очисних спорудах [2], а також прісноводних планктонних і донних безхребетних [3].

Дослідження проводили на моделі анаеробно-аеробних біореакторів в проточних умовах з використанням модельних розчинів молочної сироватки, на експериментально-виробничій установці на очисних спорудах солодового заводу в м. Славута, на реконструйованих за новою технологією очисних спорудах київської лікарні МВС України та очисних спорудах шкіряного заводу «Світ шкіри» в м. Болехів Івано-Франківської області.

Носії для іммобілізації мікроорганізмів – хімічні волокна ВІА в біореакторах були намотані на каркас з пластмасової сітки у вигляді циліндра, встановленого співвісно з циліндричним корпусом біореактора. Частина волокон була занурена в рідину (одна третя), решта знаходилась в газовій фазі (в анаеробних умовах зрошувалась рециркуляційною водою).

Кількість носіїв була прийнята залежно від концентрації органічних речовин на вході в біореактор і по мірі очищення стічної води – зменшувалась.

Концентрацію біомаси визначали як суму концентрацій прикріплених мікроорганізмів і вільноплаваючого мулу за сухою та беззольною речовинами. Для останнього показника визначали зольність біомаси.

Завданням досліджень було визначити видовий склад гідробіоценозів, що утворились в біореакторах в процесі очищення висококонце-

нтрованих стічних вод, встановити топічні та трофічні зв'язки між гідробіонтами, дослідити вплив концентрації біомаси в біореакторах анаеробно-аеробної технології на ефективність очищення висококонцентрованих стічних вод.

В результаті гідробіологічного аналізу в біоценозі обростань ВІЙ в аноксидних біореакторах спостерігали найпростіших та інших безребетних. Було виявлено багато дрібних безбарвних джгутикових роду *Bodo* (тип *Sarcomastigofora*, клас *Zoomastigoforea*): *Bodo caudatus*, *Bodo saltans*, *Bodo putrinus*, які мають овальну, яйцеподібну або близьку до цих форму тіла і два джгутики, швидко плавають, обертаючись навколо повздовжньої осі тіла. Джгутикові живляться розчиненими органічними речовинами, що надходять у тіло осмотичним шляхом (сапрозойне живлення), видають бактерій, завдяки чому сприяють інтенсифікації метаболізму у тієї частини бактерій, що залишилась у воді. Крім того, вони заковтують більш дрібних джгутиконосців і водорості.

Поява в біоценозі аноксидних біореакторів великої кількості безбарвних джгутикових *Mastigofora* свідчить [3] про переваження мулу за органічною речовиною, сполуками азоту, нестачу кисню, що характерне для аноксидних умов.

Спостерігали велику кількість черепашкових амеб класу *Sarcodina* (тип *Sarcomastigofora*) з черепашками дископодібної форми – *Arcella discooides* і *Arcella vulgaris*. *Arcella discooides* має круглу зверху черепашку, нижня її поверхня сильно увігнута (в місці отвору), а збоку – подібна до тарілки. Черепашка має отвір (ніби втягнутий всередину) в центрі диску, з якого виходять псевдоподії. *Arcella vulgaris* має черепашку збоку напівкруглу, вершина якої заокруглена і піднята, нижня поверхня увігнута, із заокругленими краями і округлим отвором в центрі. Прозорі блідо-жовті черепашки – у молодих амеб і тьмяно-коричневі – у старих. В аноксидному біореакторі II ступеня зустрічається багато залишених і деформованих черепашок. Спостерігали багато цист черепашкових кореніжок, що утворились за несприятливих умов (зниження температури, нестачі їжі та ін.). Основна їжа черепашкових амеб – бактерії, також дрібні водорості, дрібні найпростіші, наприклад, джгутикові та їх цисти.

В біоценозі обростань на носіях спостерігали багато інфузорій (тип *Ciliophora*) – одноклітинних тварин, для яких характерні дві ознаки, які їх відрізняють від всіх інших одноклітинних, – наявність війок хоча б на одній із стадій життєвого циклу і двох ядер [2]. Інфузорії є вищими організмами серед одноклітинних, будова їх найскладніша. Серед них зустрічаються вільнорухливі форми, плаваючі і ковзаючі, але є і багато прикріплених як поодиноких, так і колоніальних. Їжею для ін-

фузорій служать бактерії, дрібні джгутикові та інші мікроорганізми, які вони поглинають у великій кількості. Наприклад, встановлено [2], що одна особина прикріпленої інфузорії *Carchesium* може поглинути за годину до 30 тисяч бактерій. В очисних спорудах інфузорії, після бактерій, складають найбільш численну групу організмів біоценозу.

З інфузорій часто зустрічали мікроорганізмів класу *Kinetophragminofora* – найбільш примітивно побудованих організмів, наприклад, представника цього класу – *Prorodon teres* з крупним тілом циліндричної форми з ледве помітною перетяжкою в середній частині з густими рядами війок, біля ротового отвору війки короткі, біля заднього – довгі. Їжа – бактерії.

Також спостерігали рівновійчастих інфузорій класу *Oligohymenofora* – вільноплаваючі форми: *Colpidium colpoda* і *Colpidium campulum*. Крупні форми, мають витягнуте бобоподібне тіло, вкрите війками, на задній частині тіла війки довгі. Живляться бактеріями, дрібними джгутиковими. Інфузорії-туфельки або інфузорії хвостаті – *Paramecium caudatum* (клас *Oligohymenofora*) мають крупне тіло, подібне до веретена, витягнуте, у поперечному перерізі округле, вкрите війками, на задній частині – довшими. Ці інфузорії пристосовані до існування в умовах низької концентрації розчиненого кисню у воді, характерних для аноксидних біореакторів.

Дуже багато зустрічалось в обростаннях ВІЙ черевовійчастих інфузорій класу *Polyhymenophora*: *Aspidisca*: *Aspidisca costata*, *Aspidisca turrida*; *Stylonychia*: *Stylonychia pustulata*; *Euplotes*: *Euplotes sharon*. Це дрібні форми, дуже активні, швидко рухаються (бігають по субстрату) за допомогою цир – пучків злитих між собою війок 2-3 сусідніх рядів, що мають вигляд загострених шипів. Як і війки, цири є, в основному, органами руху. *Aspidisca* (понад 3 особини в полі зору мікроскопа) має щільну панциреподібну пелікулу. Збоку – пласка. Цири розташовані в передній і задній частині тіла. Ці інфузорії поселяються в біообростаннях. Прожерливі – поїдають бактерій, джгутикових, водорості, в тому числі діатомові.

Спостерігали численних прикріплених кругловічастих інфузорій – сувійок (клас *Peritricha*): *Vorticella microstoma* і *Vorticella submicrostoma* – одиночні форми малих розмірів, прикріплені до частинок детриту за допомогою стебла. Вони здійснюють швидкий рух (дрижання) відносно точки прикріплення – коливання із сторони в сторону на стеблі. Ці види розвиваються в сильно забрудненому органічними речовинами середовищі, яке спостерігається в аноксидному біореакторі I ступеня.

Більш крупний організм *Vorticella convallaria* з тілом у формі пра-

вільного дзвіночка, увінчаним війками, які швидко рухаються, загрибаючи воду в ротувий отвір. Це теж одиночна форма, але поселяється на субстраті групами, а за несприятливих умов швидко утворює бродяжку і упливає. Численні інфузорії *Vorticella convallaria* спостерігались в аноксидному біореакторі II ступеня. Їжею для інфузорій служать бактерії та дрібні джгутікові. В процесі очищення води вони виконують роль седиментаторів.

Також зустрічали колоніальні форми перітрих: *Epistylis plicatilis* і *Opercularia*, наприклад, спостерігали *Opercularia glomerata*, яка прикріпилась до поверхні субстрату за допомогою стебла і мала понад 10 зооїдів. *Epistylis plicatilis* може мати до декількох десятків особин. Тіло у формі витягнутого конуса, стебель – гладкий, прозорий, високий. *Opercularia* має тіло овальне або веретеноподібне, стебель не скорочується, прозорий, гілчастий. Їжа – бактерії.

Зрідка спостерігали хижих інфузорії *Didinium* з овальною формою тіла, витягнутою в передній частині у хобот. Живляться сувійками.

В обростаннях ВІЙ спостерігали хижих сисних інфузорій (підтип *Suctorina*): *Podophrya*, *Tokophrya*, які ведуть прикріпленний спосіб життя в дорослому стані, а в ембріональному (бродяжки) – рухливий. Прикріплюються до субстрату з допомогою стебла. *Podophrya* має дрібне сферичне тіло, щупальці відходять від усієї поверхні тіла, *Tokophrya* має грушоподібне або пірамідоподібне тіло, щупальці зібрані в 1-4 пучки на верхній поверхні тіла. Живляться за допомогою війчастих щупалець, якими інфузорії прикріплюються до рослин, безхребетних та ін. Булавкоподібні кінці щупалець виділяють речовини, які паралізують і вбивають здобич, а потім інфузорія висмоктує поживні речовини з тіла жертви. Їжею для сукторій служать інфузорії інших груп.

В біоценозі біообростань в аноксидному біореакторі II ступеня досить щільних (рис. 1) зустрічались коловертки (тип *Nemathelminthes*, клас *Rotifera*) – первиннополосні черви – мікроскопічні багатоклітинні організми, які досягають 2,5 мм в довжину, мають відмінні від інших організмів специфічні органи – коловертний апарат, що виконує одночасно функції руху і живлення, і мастакс або глотку, в середині якої – щелепний апарат. Вони прикріплюються до субстрату з допомогою ноги. Їжа – бактерії, частинки детриту, дрібні водорості, найпростіші. Вони сприяють очищенню води і мінералізації біомаси обростань. Коловертки можуть існувати при малих концентраціях кисню і стійкі до вмісту сірководню, метану.

Спостерігали вільноживучих круглих червів *Nematoda* (тип *Nemathelminthes*) – первиннопорожнинних організмів, форма тіла яких витягнута зі звуженими кінцями, довжина 0,5-3 мм. Їх роль в біоценозі

суттєва, адже вони живляться бактеріями, детритом, найпростішими.

В обростаннях спостерігали небагато малошетенкових черв'їв *Oligochaeta* (тип *Annelida*) з сильно витягнутим тілом, що складається з сегментів, на яких розташовані пучки щетинок з верхнього і нижнього боку. Покрив тіла прозорий – видна внутрішня будова організму. Має замкнуту кровотворну систему (колір крові спричинює червоне забарвлення, наприклад у *Tubifex tubifex*). Поселяються в обростаннях, можуть витримувати великий дефіцит кисню, наприклад *Tubifex tubifex*. Їжа – детрит тваринного і рослинного походження, бактерії, черепашкові амеби та ін. В біоценозі біореакторів об'їдають обростання ВІЙ, заковтуючи при цьому дрібних малорухливих найпростіших. Роль у біоценозі очисних споруд надзвичайна – мінералізація органічних речовин біомаси. Пропускаючи мулові частинки і частинки біообростань через свій кишечник, вони викидають в середовище у вигляді доволі крупних решток мінералізовані речовини.

Спостерігали в біоценозі личинки мушки *Psychoda* у великій кількості в аноксидних умовах.

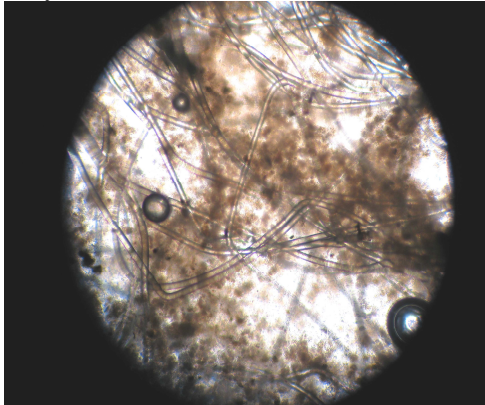


Рис. 1. Мікрофотознімок ВІЙ з біообростаннями (x400)

З найпростіших і інших безхребетних в гідробіоценозі аеробного біореактора були виявлені такі мікроорганізми (рис. 2).

В біоценозі зустрічали різноманітні інфузорії: черевовійчасті інфузорії *Aspidisca*, *Stylonychia*, *Euplote* в невеликих кількостях; прикріплені кругловоїчасті інфузорії *Vorticella convallaria*, *Vorticella nebulifera* – крупні форми. Потрібно відзначити відсутність в аеробному біореакторі дрібних інфузорій *Vorticella microstoma* і *Vorticella submicrostoma*, характерних для аноксидного біореактора I ступеня. Це можна пояснити виїданням цих організмів хижаками вищих ланок трофічних ланцю-

гів, що складаються в очисних спорудах: хижими інфузоріями, дедініями. Також були присутні колоніальні форми інфузорій *Epistylis plicatilis*, *Opercularia* і хижі сисні інфузорії (сукторії): *Podophrya*, *Tokophrya* в невеликих кількостях.

В біоценозі біообростань спостерігали велику чисельність різноманітних видів коловерток (одна-дві в полі зору мікроскопа): *Philodina roseola*, *Cathypna luna*, *Rotaria rotatoria*, на відміну від аноксидних біореакторів, де їх було небагато (зустрічались в анаеробному біореакторі II ступеня), адже коловертки чутливі до нестачі у воді розчиненого кисню. Вони втрачають рухливість, витягуються і поступово відмирають. На носіях були малощетинкові черви *Oligochaeta - Tubifex tubifex*.

Наявність в аеробному біореакторі коловерток і червів – організмів вищих ланок трофічних ланцюгів, які приживаються в гідробіоценозі цієї споруди, забезпечує покращення процесу очищення води, адже ці організми видають детрит, бактерій, найпростіших, які можуть виноситись із очисної споруди разом з очищеною водою; зменшення приросту біомаси мікроорганізмів, внаслідок чого зменшуються витрати на обробку та утилізацію осадів; мінералізацію біомаси, що покращує седиментаційні властивості осадів.

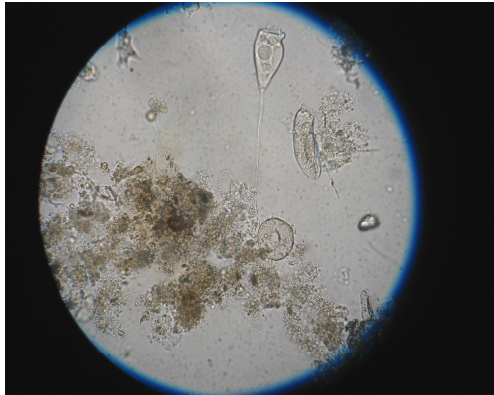


Рис. 2. Мікрофотознімок вільноплаваючого мулу аеробного біореактора (x400)

Результати проведених досліджень показали, що при зменшенні концентрацій органічних і неорганічних речовин в стічних водах в процесі очищення в проточній системі біореакторів за анаеробно-аеробною технологією спостерігається поступове зниження концентрації біомаси: від 15-20 г/дм³ в анаеробному біореакторі I ступеня, 10-15 г/дм³ – в анаеробному II ступеня до 3-6 г/дм³ в аноксидних і 2-3 г/дм³ – в аеробному біореакторах. Найбільші концентрації імобі-

лізованих мікроорганізмів – в анаеробних умовах, де відбувалось розкладення великої кількості органічних речовин. Потрібно відзначити, що приріст біомаси в анаеробних біореакторах становив 100-150 мг на 1 г органічних речовин за ХСК. В аноксидних і аеробному біореакторах приріст біомаси зменшувався до 50-30 мг на 1 г органічних речовин за ХСК, що можна пояснити виїданням біомаси бактерій і дрібних джгутикових організмами вищих ланок трофічних ланцюгів гідробіоценозів, які проживають в цих спорудах.

Найменші значення питомої біомаси спостерігались для аноксидного біореактора I ступеня – 0,6-0,9 г на г носія, що можна пояснити великою кількістю носія, але меншою концентрацією органічних речовин, які переробляються мікроорганізмами в даному біореакторі.

Як показали результати досліджень, досягнуті в біореакторах величини концентрацій біомаси іммобілізованих на носіях мікроорганізмів і вільноплаваючого мулу дозволили одержати високий ступінь очищення стічних вод від органічних речовин і сполук азоту, забезпечуючи високі швидкості окиснення органічних речовин, деструкції органічних сполук азоту, а також високі окисні потужності анаеробних, аноксидних і аеробних очисних споруд.

Встановлено, що утворений в біореакторах гідродинамічний режим сприяв формуванню гранульованого активного мулу (рис. 3) з розміром гранул 2-2,5 мм, високою концентрацією сухої речовини – до 50 г/дм³ і малим муловим індексом – до 57 см³/г. Утворення гранульованого активного мулу дозволяє збільшити концентрацію активного мулу в споруді, ефективність очищення і полегшує відокремлення мулу від очищеної води.

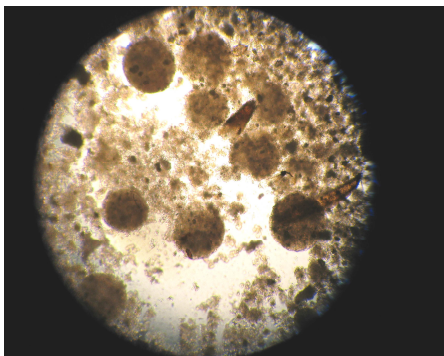


Рис. 3. Мікροфотознімок гранульованого активного мулу (x400)

На підставі експериментальних досліджень встановлено такі раціональні межі параметрів біомаси, іммобілізованої на носіях в анаеробно-аеробних біореакторах при концентраціях органічних речовин у вихідній стічній воді за ХСК 4000-4500 мг/дм³: концентрації біомаси, г/дм³, в анаеробних I і II ступенів, відповідно, – 15-20 і 10-15, в аноксидних I і II ступенів, відповідно, – 4-6 і 3-4, в аеробному – 2-3, зольності, %, в анаеробних I і II ступенів – 30, аноксидних I і II ступенів, відповідно, – 30-40 і 40-50, в аеробному 50-60. Якість очищених стічних вод за ХСК, мг/дм³ становить після анаеробного I і II ступенів, відповідно, – 2100-2400 і 640-750, аноксидних I і II ступенів, відповідно, – 230-360 і 130-180, аеробного – 50-80.

Результати досліджень свідчать про те, що при очищенні стічних вод в біореакторах з іммобілізованими мікроорганізмами утворюється біоконвеєр: від бактерій, дрібних джгутикових, інфузорій до коловерток, черв'яків, за допомогою якого ефективно очищуються стічні води від органічних забруднень, регулюється чисельність популяцій гідробіонтів, що призводить до зменшення кількості біомаси і збільшення її мінеральної частки (до 60%).

1. Саблій Л. А. Фізико-хімічне та біологічне очищення висококонцентрованих стічних вод: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня докт. техн. наук / Л. А. Саблій – Київ, 2011. – 40 с. **2.** Фауна аэротенков : атлас / отв. ред. Л. А. Кутикова. – Л. : Наука, 1984. – 264 с. **3.** Определитель пресноводных беспозвоночных европейской части СССР (Планктон и бентос) / отв. ред. Л. А. Кутикова, Я. И. Старобогатов. – Л. : Гидрометеиздат, 1977. – 511 с.

Рецензент: к.т.н., доцент Сівак В. М. (НУВГП)