УДК 628. 33

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

ДОСЛІДЖЕННЯ БІОЦЕНОЗУ АНАЕРОБНО-АЕРОБНОЇ СИСТЕМИ БІОРЕАКТОРІВ ПРИ ОЧИЩЕННІ СТІЧНИХ ВОД

Досліджено склад мікроорганізмів, які входять до біоценозів біообростань волокнистих носіїв в процесі очищення стічних вод в анаеробно-аеробних біореакторах. Проведено аналіз ролі гідробіонтів у процесах очищення стічних вод.

The article investigates microorganisms of immobilizing biocenoses of fiber loading at wastewater treatment process in anaerobic-aerobic bioreactors. The role of hydrobionts at wastewater treatment processes is analyzed.

При біологічному очищенні стічних вод основна роль належить мікроорганізмам, які поселяються в очисній споруді і використовують речовини, що містяться в стічній воді, в процесі своєї життєдіяльності. Це численні бактерії, безхребетні, водорості, гриби, мікроскопічні тварини, які утворюють гідробіоценози очисних споруд. Від того, які забруднення містяться в стічній воді і в яких концентраціях, які умови створюються і підтримуються у споруді: анаеробні, аноксидні чи аеробні; де можуть поселятись гідробіонти: в товщі води на частинках активного мулу, на поверхні завантаження чи носія, залежить видовий і чисельний склад гідробіоценозу.

Біоценози активного мулу і біологічної плівки традиційної технології біологічного очищення стічних вод детально обстежені і досліджені [1], на підставі спостережень складений атлас [2], з допомогою якого на очисних спорудах здійснюють видове визначення мікроорганізмів – очисних агентів.

Пошук і впровадження нових ефективних біотехнологій призводить до необхідності дослідження біоценозів мікроорганізмів, які здійснюють очищення стічних вод. Так, використання анаеробно-аеробної технології очищення високонцентрованих за органічною речовиною стічних вод в системі біореакторів з волокнистими носіями для утримування та іммобілізації мікроорганізмів [3] спонукало дослідження біоценозів мікроорганізмів в біореакторах на кожному ступені очищення.

Отже, задачею даних досліджень було визначити видовий склад гідробіоценозів, що утворились в біореакторах в процесі анаеробно-аеробного очищення стічних вод молокозаводів, гідробіонти яких ефективно очищають стічну воду від висококонцентрованих органічних забруднень і сполук азоту, регулюють приріст біомаси при виїданні [4]; встановити топічні та трофічні

(харчові) зв'язки між гідробіонтами.

Гідробіологічний аналіз мікроорганізмів біоценозів, що утворювались в окремих біореакторах, проводили з використанням біологічного тринокулярного мікроскопа дослідницького класу з фото/відео виходом «XSP – 139TP» (виробництва компанії JNOEC) із збільшенням 40х – 1500х.

Спостереження за мікроорганізмами (інфузоріями, коловертками та ін.) 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 в живому стані в краплі води з часточкою носія з біообростанням, покритою покривним скельцем, під малим і великим збільшенням мікроскопа (х300, х600). При цьому звертали увагу на форму, розміри, морфологічні особливості, характер поведінки мікроорганізмів: рухливість, активність роботи війкового апарату (у інфузорій), коловерткового (у коловерток), наявність і кількість органел, характерних для особин, які досліджуються тощо.

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 [5].

В біоценозі обростань ВІЙ в аноксидних біореакторах спостерігали найпростіших та інших безхребетних.

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), виїдають 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 [1] про перевантаження мулу по органічній речовині, сполуках азоту, нестачу кисню, що характерно для аноксидних умов.

Присутня велика кількість черепашкових амеб класу *Sarcodina* (тип *Sarcomastigofora*) з черепашками дископодібної форми – *Arcella discoides* і *Arcella vulgaris*. *Arcella discoides* має черепашку зверху круглу, тоді як нижня її поверхня сильно увігнута (в місці отвору), а збоку має форму, подібну 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

ІІ ступеня зустрічається багато залишених і деформованих черепашок. Зустрічається багато цист черепашкових корененіжок, що утворюються за несприятливих умов (зниження температури, нестача 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 інфузорій служать бактерії, дрібні джгутикові та інші мікроорганізми, які вони поглинають у великій кількості. Наприклад, установлено [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, що 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, довшими на задній частині. Ці інфузорії пристосовані до існування в умовах низької концентрації розчиненого кисню у воді, характерних для аноксидних біореакторів.

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

Спостерігали численних прикріплених коловійчастих 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 І ступеня.

Більш крупний організм *Vorticella convallaria* з тілом у формі правильного дзвіночка, увінчаним війками, які швидко рухаються, загрібаючи воду в ротовий отвір. Це теж одиночна форма, але поселяється на субстраті групами, а за несприятливих умов швидко утворює бродяжку і відпливає. Численні інфузорії *Vorticella convallaria* спостерігались в аноксидному біореакторі ІІ ступеня. Їжею для інфузорій служать бактерії та дрібні джгутикові. Отже, вони виконують роль седиментаторів, очищуючи воду від бактерій (в тому числі і хвороботворних).

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, стебло – гладеньке, прозоре, високе. *Opercularia* має тіло овальне або веретеноподібне, стебло не скорочується, прозоре, гілчасте. Їжа – бактерії.

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

В обростаннях ВІЙ спостерігали хижих сисних інфузорій (підтип *Suctoria*): *Podophrya*, *Tokophrya*, які ведуть прикріплений 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. Їжею для сукторій служать інфузорії інших груп.

В біоценозі біообростань в аноксидному біореакторі ІІ ступеня зустрічались коловертки (тип *Nemathelminthes,* клас *Rotifera*) – первиннополосні черви, що представляють собою 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, яка містить всередині щелепний апарат. Вони прикріплюються до субстрату з допомогою ноги. Їжа – бактерії, частинки детриту, дрібні водорості, різноманітні найпростіші. Вони сприяють очищенню води і мінералізації біомаси обростань. Коловертки можуть існувати при малих концентраціях кисню і стійкі до вмісту сірководню, метану та ін.

Спостерігали вільноживучих круглих червів *Nematoda* (тип *Nemathelminthes*) – первиннопорожнинних організмів, форма тіла яких витяг-

нута із звуженими кінцями, довжина 0,5-3 мм. Їх роль в біоценозі суттєва, адже вони живляться бактеріями, детритом, найпростішими.

В обростаннях спостерігали небагато малощетинкових червів *Oligochaeta* (тип *Annelida*) з сильно витягнутим тілом, що складається з сегментів, на яких є пучки щетинок з верхнього і нижнього боку. Покров тіла прозорий, що дозволяє бачити внутрішню будову організму. Має замкнуту кровотворну систему (колір крові спричиняє 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.

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

З найпростіших та інших безхребетних в гідробіоценозі аеробного біореактора були виявлені мікроорганізми. В біоценозі зустрічали різноманітні інфузорії:

- черевовійчасті інфузорії *Aspidisca, Stylonyhia,, Euplotes* в невеликих кількостях;
- прикріплені коловійчасті 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 ланцюгів, що утворюються в очисних спорудах: хижими інфузоріями, дедініями та ін.;
- колоніальні форми інфузорій *Epistylis plicatilis, Opercularia* в невеликих кількостях;
- 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 спостерігали малощетинкових червів *Oligochaeta – Tubifex tubifex.*

Наявність в аеробному біореакторі коловерток і червів – організмів вищих ланок трофічних ланцюгів, які утворюються в гідробіоценозі цієї споруди, забезпечує покращення процесу очищення води, адже ці організми виїдають детрит, бактерій, які можуть виноситись із очисної споруди разом з очище-

ною водою; зменшення приросту біомаси мікроорганізмів, внаслідок чого зменшуються витрати на обробку і утилізацію осадів; мінералізацію біомаси, що покращує седиментаційні властивості осадів.

На підставі проведених досліджень гідробіонтів біообростань ВІЙ в аноксидних І і ІІ ступенів і аеробному біореакторах можна зробити такі висновки:

– В умовах ступеневого біологічного очищення стічних вод молокозаводів в біореакторах утворились специфічні гідробіоценози, характерні для даного ступеня очищення, з певними концентраціями і фізико-хімічними властивостями органічних і неорганічних речовин, які поступають в кожну споруду, а також з відповідними кисневими умовами для протікання процесу очищення.

– В гідробіоценозах споруд між гідробіонтами утворились певні трофічні ланцюги та сітки. Наприклад, дрібні джгутикові поїдають бактерій, їх самих поїдають черепашкові амеби, останніх – коловертки, які можуть стати жертвами хижих коловерток. Паралельно може існувати інший трофічний ланцюг: бактерій і дрібних джгутикових поїдають черевовійчасті інфузорії, їх можуть поїдати коловертки. За рахунок спільних ланок і переплетіння трофічних ланцюгів утворюється трофічна сітка екосистеми споруди.

– Утворення трофічних ланцюгів в гідробіоценозах споруд призводить до виїдання біомаси обростань носіїв, влаштованих в біореакторах, зменшення кількості біомаси, адже в кожній наступній ланці трофічного ланцюга чисельність популяції організмів майже вдесятеро менша, ніж в попередній.

– Присутність в гідробіоценозах біореакторів коловерток і червів сприяє мінералізації органічної речовини біомаси обростань.

– Гідробіологічні дослідження показали, що в біореакторах працює так званий «біоконвеєр»: від бактерій, дрібних джгутикових, інфузорій до коловерток, червів та інших організмів, за допомогою якого ефективно очищується стічна вода від органічних забруднень і регулюється чисельність популяцій гідробіонтів – біологічних очисників води.

1. Голубовская Э.К. Биологические основы очистки воды. – М.: Высшая школа, 1978. – 268 с. **2**. Фауна аэротенков (Атлас). – Л.: Наука, 1984. – 264 с. **3**. Sabliy L., Kuzminskiy Y., Gvozdyak P., Lagod G. Anaerobic and aerobic treatment of wastewater of milk plants // Proceedings of ECOpole. –Vol. 3. No. 2. – 2009. – P. 373-378. **4**. Гвоздяк П.І. За принципом біоконвеєра (Біотехнологія охорони довкілля) // Вісн. НАН України. – 2003. – № 3. – С. 29-36. **5**. Определитель пресноводных беспозвоночных европейской части СССР (Планктон и бентос). – Л.: Гидрометеоиздат, 1977. – 511 с.

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