

7 ПРОМИСЛОВЕ ВИКОРИСТАННЯ БІОТЕХНОЛОГІЇ В ПРИРОДООХОРОННІЙ ДІЯЛЬНОСТІ

1. Біоочищення стічних вод.
2. Особливості складових компонентів стічних вод гірничодобувних підприємств.
3. Основні показники процесу біохімічного очищення стічних вод.
4. Методи аеробного очищення стічних вод.

1. Біоочищення стічних вод.

Небажаним наслідком господарської діяльності людини стало порушення природної рівноваги в багатьох водоймищах та погіршення в них якості води. Промислові й побутові стоки, що потрапляють у природні об'єкти, характеризуються високим рівнем вмісту забруднювальних речовин, значною кількістю токсикантів. За таких обставин самостійне відновлення водних джерел стає неможливим. І тут виникає нагальна необхідність у розробці й застосуванні сучасних екологічно безпечних, ефективних методів очищення стічних вод, особливо тих, що повертаються у водні об'єкти, і тих, які підлягають вторинному використанню.

Стічними водами називають водні системи, насичені багатьма речовинами, що утворилися внаслідок господарсько-побутової та виробничої діяльності, у зв'язку з чим набули значних змін у первинному хімічному складі або втратили свої фізичні властивості й стали непридатними для зворотних процесів. Слід зауважити, що складові компоненти промислових стічних вод вельми різноманітні, а їхня характеристика залежить від типу виробництва забруднювача. При цьому його кількість зумовлена продуктивністю технологічних процесів.

Очищення стічних вод – це багатоступеневий складний процес, спрямований на відтворення якісної характеристики забрудненої води для можливості її подальшого господарського використання. Очищення води, перш за все, передбачає зменшення вмісту або видалення з неї забруднювальних компонентів: органічних речовин, колоїдних чи завислих твердих частинок, а також знищення хвороботворних бактерій та ін.

Очищення стічних вод на промислових підприємствах України залишається однією з найважливіших й актуальних екологічних проблем. Серед усіх сучасних методів знешкодження промислових і побутових стічних вод найбільш екологічно безпечними визнано біологічні. По-перше, біологічне очищення базується на природних процесах, тобто в ньому важливу роль відіграє здатність гетеротрофних мікроорганізмів використовувати для живлення поряд з органічними речовинами в стічних водах (це спирти, білки, вуглеводи та ін.), і деякі неорганічні (аміак, нітрати, фосфати, солі або ін.). Контактуючи з цими сполуками, мікроорганізми в процесі отримання енергії частково їх руйнують, перетворюючи на воду, діоксид карбону, аніони (сульфатні іони) та катіони деяких металів, а частково вони споживають названі речовини для власної репродуктивності, тобто нарощення біомаси. По-друге, мікроорганізмам притаманна

властивість швидкого скупчення та утворення колоній, що дає можливість легко відділяти їх від очищеної води.

До ефективних біологічних методів відноситься фільтрація стічних вод через біоінженерні очисні споруди (БІС) – біоплато або біоставки. Такі споруди заселяють різними групами вищих водних рослин (ВВР), які, споживаючи розчинні у воді забруднювачі (сульфати, нітрати, нафтопродукти та ін.), здатні використовувати їх у процесі життєдіяльності. При цьому в даних гідроспорудах формується активний штучний біогеоценоз, продуктивність якого залежить від особливостей морфологічної структури представників водних рослин (висока розгалуженість кореневої системи, значна кількість вегетативної маси тощо), а також їх толерантності до різного роду ксенобіотиків.

2. Особливості складових компонентів стічних вод гірничодобувних підприємств.

Специфіка вугільної галузі не дозволяє повною мірою уникнути шкідливого впливу на поверхневі й підземні водні об'єкти. При розробці вугільних родовищ спостерігається змішування природних вод із забрудненими шахтними водами й переміщення цих потоків гірничими виробками. Гірничоексплуатаційний процес призводить до зашламовування водостічних каналів і водозбірників, викликаючи підтоплення виробок та погіршення умов збереження їхньої цілісності, а також стану підземного транспорту. Отже, шахні води завжди вважались потенційним джерелом забруднення водних ресурсів.

Шахтні води, які з'являються при видобуванні корисних копалин, проникають у підземний простір, проходячи крізь весь комплекс водовідливного господарства шахти.

Крім того, проведення буропідричних робіт у кар'єрах, коли використовують вибухові суміші з великою кількістю водорозчинних нітросполук (в основному солей азотної кислоти) і маслоподібних речовин (солярове, нітрогліцеринове масла), призводить до значного забруднення природних вод.

Визначено чотири основних ознаки, за якими шахтні та кар'єрні води не відповідають екологічним вимогам:

- 1) висока мінералізація (майже на всіх шахтах концентрація мінеральних речовин у воді перевищує 1 г/л; а на 60% шахт – сягає 3 г/л; на 40% шахт становить понад 3 г/л), через що у водойми та річки щорічно потрапляє близько 2 млн т мінеральних солей;
- 2) значна забрудненість завислими речовинами (90–100 мг/л), що викликає замулювання водних об'єктів;
- 3) бактеріальне забруднення (залежно від норми водопостачання наявність підвищеної концентрації бактерій групи кишкової палички, що оцінюється за величиною колі-титру, тобто перебуванням в 1 мл води однієї клітини *Escherichia coli*);
- 4) підвищений вміст важких металів (кількість мікроелементів: міді, нікелю, титану, цинку, стронцію та інших перевищує ГДК у 1,5, а подекуди в 15 разів).

У стічних водах деяких вугільних шахт виявлено широкий спектр різних хімічних речовин (ароматичні вуглеводні, феноли, арсен, селен, сурма або стибій тощо). Окиснювальність шахтних вод коливається в межах 2–50 мг/л. До їх складу можуть входити аміак (до 5 мг/л), азотиста кислота (до 1,5 мг/л), азотна кислота (0,4–50 мг/л).

Найбільш кислі й великою мірою мінералізовані шахтні води з'являються у верхніх горизонтах і в гірничих виробках на території найближчої до поверхні гідрохімічної зони. Це стосується шахт, де видобувають антрацит, коли глибина виробки становить 250–300 м, мають місце малі кути падіння порід, а загальний вміст сірки у вугіллі перевищує 2,5 %. У більш глибоких горизонтах (300–400 м) спостерігається поява сульфатно-хлоридних натрієвих або натрієво-кальцієвих вод. А на глибині понад 400 м з'являються хлоридно-сульфатні води. Причому, у шахтних водах із збільшенням глибини зменшується вміст іонів SO_4^{2-} , Ca^{2+} , Mg^{2+} , а кількість іонів K^+ , Na^+ , Cl^- , HCO_3^- зростає. До того ж на однаковій глибині шахтні води порівняно з підземними містять більшу кількість сульфатів кальцію та магнію, що значно підвищує їхню жорсткість.

В практиці багатостадійного очищення й доочищення стічних вод, в тому числі і шахтних, використовується різні методи, в тому числі і біохімічні. Останнім часом перспективною технологією вважається використання процесів контактної коагуляції на основі синтетичних матеріалів.

З огляду на це, для біологічного очищення шахтних вод пропонується застосовувати волокнисті носії як модульний елементі біохімічного очищення шахтних вод, що спрямоване на підвищення ефективності процесу за рахунок іммобілізації мікроорганізмів.

Для більш повного перебігу окислювально-відновних реакцій в аеробних умовах проведення біохімічного очищення шахтних вод запропоновано аеротенк, який завантажено багатоступеневою іммобілізованою системою фільтрувального матеріалу (рис. 1).



Рис. 1 – Контейнер з інертним фільтрувальним носієм.

1 – каркас із труб полівінілхлориду;

2 – багатоелементний іммобілізований носій типу «йорж»;

3 – види модульних елементів «йорж»

Система «йорж» (на рис. 1 показано контейнер для одного ступеня очистки) виготовлена з поліамідних або капронових волокон (0,25–0,4 мм), які закріплені на неіржавіючому дроті товщиною 1–1,4 мм. Діаметр елемента «йорж» становить 120 мм. Полімерні елементи з іммобілізованими клітинами мікроорганізмів дозволяють підтримувати оптимальну дозу активного мула в аеротенку у межах 1–5 мг/л.

Таке конструктивне удосконалення фільтрувальної системи сприятимуть підвищенню надійності і ефективності роботи комплексу технологічного обладнання, дозволяє забезпечити ступень очищення шахтних вод до 98%.

3. Основні показники процесу біохімічного очищення стічних вод.

Рівень забруднення стічних вод різними речовинами (у розчинній формі чи у вигляді колоїдних або завислих частинок) може бути визначений за кількістю кисню, що витрачається на окиснення цих речовин.

Спектр забруднювачів води органічного й неорганічного походження, як правило, дуже широкий і його прийнято характеризувати такими кількісними показниками біоценозу очисних споруд: **БСК** (біохімічне споживання кисню), **ХСК** (хімічне споживання кисню), параметром **біохімічної активності мікроорганізмів**.

При високому вмісті органічних речовин у стічних водах швидко розмножуються аеробні бактерії, для життєдіяльності яких необхідний кисень. Процес ферментативного руйнування ними органічних речовин називається **біохімічним окисненням**. Контактуючи з органічними сполуками стоків, аеробні бактерії перетворюють їх на хімічно безпечні речовини (воду, діоксид вуглецю, нітрит-, нітрат- і сульфат-іони та ін.) і частково споживають для нарощування власної біомаси. Величина **БСК** чисельно відповідає концентрації O_2 в мг/л або в г/м³.

Показник **БСК** характеризує кількість кисню, що потрібна мікроорганізмам для біохімічного окиснення органічних речовин-забруднювачів стічних вод з утворенням CO_2 і H_2O протягом певного часу (наприклад, за 2, 5, 20 діб – **БСК₂**, **БСК₅**, **БСК₂₀**). Зокрема, **БСК₅** являє собою важливий екологічний показник стану природних водоймищ при біохімічному окисненні органічних речовин упродовж 5 діб до початку нітрифікації.

БСК_{повн.} – показник, який відображає біохімічне споживання мікроорганізмами кисню органічних речовин за період, необхідний для повного перетворення забруднювачів у кінцеві продукти (не враховуючи процес нітрифікації).

БСК неочищених стічних вод може перевищувати санітарні норми (досягати 100–3000 мг O_2 /л і більше).

Для більш повного оцінювання вмісту органічних речовин у стічних водах (особливо суміші побутових і промислових стоків), окрім **БСК**, використовують показник хімічного споживання кисню (**ХСК**).

Він характеризує сумарний вміст органічних і неорганічних речовин у стічних водах за ознакою витрат хімічно зв'язаного кисню (мг O_2 /л), відображуючи кількість кисню у різних хімічних окиснювачах (суміші сірчаної кислоти з йодатом калію або

хромової кислоти), яка витрачається в процесі нагрівання з метою окиснення речовин-забруднювачів стічних вод, у тому числі й відновленого під час нітрифікації азоту.

Хімічне споживання кисню являє собою один з основних інтегральних показників антропогенного забруднення, що використовується для контролю якості питних, природних стічних вод різного характеру.

Біохімічна активність мікроорганізмів у біоценозі очисних споруд пов'язана з їх біохімічною діяльністю, тобто швидкістю біорозкладання органічних забруднень у стічних водах. Для її визначення використовують відносний біохімічний показник – **БСКповн./ХСК**.

Біохімічне окиснення можливе тоді, коли відношення **БСК/ХСК · 100 = 50%**. Основна вимога при цьому – це відсутність у стічних водах отруйних речовин і домішок солей важких металів.

Процес окиснення органічних речовин у стічних водах – це послідовний ряд складних біохімічних перетворень у клітинах мікроорганізмів. Спочатку мікроорганізми адаптуються до наявності різних хімічних речовин і поступових змін їх концентрації. Тривалість адаптаційного періоду залежить від конкретних умов і становить від 1–2 діб до декількох місяців.

Речовини, розчинені в середовищі, досягають поверхні мікробних клітин і проникають усередину останніх за рахунок конвективної та молекулярної дифузії через напівпроникні цитоплазматичні мембрани. Дифундування є наслідком виникнення градієнта концентрацій речовин у клітині та навколо неї.

Проте значна частина речовин потрапляє в клітини за допомогою специфічного розчинного білкового комплексу. За його участю утворюється речовина-переносник, що здатна далі проходити через мембрану в цитоплазму клітини, де ферментативно руйнується, і знову включається в новий цикл перенесення.

Біоценоз, що формується в спорудах біологічного очищення стічних вод (наприклад, біоплівка на носії біофільтра), включає сукупність мікроорганізмів, нижчих рослин і тварин, які поєднані між собою умовами сумісної життєдіяльності.

До системи біоценозу входять одноклітинні бактерії, актиноміцети (променисті грибки), водорості, дріжджі (водні грибки), які формують перший трофічний рівень (із гр. «*trophe*» – живлення). Вони відзначаються ферментативною активністю до будь-якого виду забруднень, що наявні в стоках. Джерелом живлення для мікроорганізмів першого рівня є субстратні сполуки (забруднення), що розкладаються ними до простих речовин. Другим трофічним рівнем є одноклітинні тваринні організми – найпростіші, які споживають біомасу першого трофічного рівня. У свою чергу, найпростіші – представники третього трофічного рівня є поживними елементами для інших організмів (коловерток, нематод) і личинок комах.

Фізіологічні особливості різних видів живих організмів біоценозу проявляються у необхідності кожної групи бути ланцюгом трофічної ланки загального процесу біохімічного перетворення забруднювачів. Підтримка певного співвідношення біомаси трофічних рівнів піраміди в системі очисних споруд дозволяє забезпечувати стабільність освітлення стічної води й знешкодження наявної в ній патогенної мікрофлори.

Слід зазначити, що надзвичайно високу метаболічну активність мають бактеріальні клітини, у яких дуже інтенсивно відбуваються два взаємопов'язані обмінні процеси – розпад молекул (катаболізм) та їх синтез (анаболізм). При цьому в клітині бактерій продукуються, виділяючись у зовнішнє середовище, екзоферменти, які каталізують перетворення речовин субстрату в розчинний стан. Одночасно за допомогою іншої групи білкових речовин – ендоферментів, багатокомпонентні колоїдні розчини перетворюються на активовані проміжні речовини, які вільно проходять через внутрішню клітинну мембрану й беруть участь у конструктивному метаболізмі. Отже, під впливом відповідних внутрішніх ферментів у клітинах бактерій проходить руйнування складних органічних молекул з утворенням низькомолекулярних фрагментів (моносахаридів, амінокислот, жирних кислот та ін.), з яких далі синтезуються власні клітинні структурні білки, жири й вуглеводи (клітини ростуть і розмножуються). Частина поживних сполук клітини витрачають на власні енергетичні потреби.

Як бачимо, основою процесів біохімічного розщеплення речовин у стічних водах є ферментативні гідролітичні та окисно-відновні реакції.

Таким чином, біологічний метод очищення дозволяє, використовуючи активність ферментних систем живих організмів, руйнувати різні органічні сполуки, до складу яких входять вуглець, водень, кисень, азот, сульфур, фосфор. Деструкція складних органічних молекул супроводжується спрощенням їх структури шляхом відщеплення окремих фрагментів. Багато домішок, що наявні в побутових і промислових стічних водах, під час біохімічних перетворень розкладаються повністю. Крім того, біохімічну обробку можна застосовувати також для окиснення й відновлення комплексних сполук з подальшим видаленням важких металів змінної валентності (феруму, мангану, хрому, ртуті).

Залежно від того, які речовини виступають у ролі акцептора водню, процеси біохімічного окиснення субстрату мікробними клітинами поділяють на три основні групи, а саме:

- 1) клітинне дихання, якщо акцептором водню є кисень (аеробні умови);
- 2) біохімічне окиснення – процес розщеплення органічних сполук;
- 3) бродіння (анаеробні умови), коли акцептором водню виступає органічна речовина або анаеробне дихання, якщо акцептор водню – неорганічний агент типу сульфатів, нітратів тощо.

Процес аеробного окиснення виявився найбільш ефективним. Він дозволяє мікроорганізмам отримати більшу кількість енергії та виділити у водне середовище екологічно безпечні низькомолекулярні речовини (діоксид вуглецю й воду).

Кінцеві низькомолекулярні водорозчинні продукти метаболізму виводяться з клітини в субстрат. Інакше кажучи, між клітиною та водним середовищем відбувається послідовний і спрямований масообмін, який полягає в надходженні поживних речовин і у своєчасному видаленні продуктів метаболізму. Залежно від роду живлення організми поділяють на метатрофи, які в процесі життєдіяльності використовують органічні сполуки, і прототрофи, що споживають неорганічні речовини.

Механізм синтезу АТФ у більшості анаеробних мікроорганізмів на рівні субстрату відбувається тільки шляхом фосфорилування. Аеробні організми здатні значно ефективніше утворювати АТФ за допомогою фосфорилування через електрон-транспортний ланцюг і фермент АТФ-синтетазу (здійснюючи, так зване, тканинне дихання). Процес дихання, тобто отримання енергії, полягає у вивільненні відновлених еквівалентів, зокрема протонів (атомів водню) та електронів. Останні утворюються внаслідок окиснення органічних речовин субстрату (стічних вод) та перебігу регенерації АТФ. При цьому клітини мікроорганізмів отримують необхідні для життєдіяльності основні поживні елементи (вуглець, азот, кисень, водень і фосфор), а також мікроелементи: залізо, манган, сульфур, калій та ін. Якщо біогенних елементів недостатньо, то їх додатково вносять у стічні води у вигляді добавок.

4. Методи аеробного очищення стічних вод.

У практиці набули поширення процеси аеробного та анаеробного біохімічного очищення стічних вод.

Вибір біологічного методу очищення залежить від значення показника концентрації розчинених у воді органічних забруднень (БСКповн.). Зокрема, якщо забруднення становить:

- 1) до 1000 мг/л, то доцільно використовувати аеробні методи;
- 2) від 1000 до 5000 мг/л – економічна ефективність аеробних та анаеробних методів практично однакова;
- 3) понад 5000 мг/л, то перевагу слід віддавати анаеробним методам.

При цьому необхідно враховувати не тільки концентрацію поллютантів, норми витрат стічних вод, а також те, що анаеробні процеси, на відміну від аеробних, зумовлюють утворення газоподібних продуктів (метану, аміаку, сірководню), що впливає на ефективність очищення води. Якщо спостерігається високий рівень забруднення, то на початкових стадіях застосовують анаеробне, а на кінцевих – аеробне очищення.

В основі аеробних методів – використання груп мікроорганізмів, для життєдіяльності яких обов'язкове постійне надходження кисню й підтримання температури середовища на рівні 20–40°C. Порушення кисневого й температурного режимів призводить до змін складу та чисельності мікроорганізмів. Очищення стічних вод в аеробних умовах проводиться за допомогою біофільтрів або шляхом культивування мікроорганізмів в активному мулі, біоценоз якого складається з різних груп живих організмів (бактерій, черв'яків, грибів, водоростей, рачків). Активний мул є амфотерним колоїдом, у якому показник рН = 4–9, а до складу його сухої речовини входить 70–90% органічних і 10–30% неорганічних речовин.

Основною метою аеробних методів очищення є окисна мінералізація вуглецевмісних органічних сполук і перетворення відновлених форм нітрогену в окиснені (нітрифікація нітрогену з утворенням нітрит- і нітрат-іонів).

Аеробне біохімічне очищення стічних вод від органічних сполук здійснюється за участю гетеротрофних мікроорганізмів, для яких джерелом живлення є органічний вуглець (білки, жири, вуглеводи та ін.). Поживна цінність вуглецю проявляється по-

різному і залежить як від фізико-хімічних властивостей вищезначених органічних речовин стічних вод, так і від фізіологічних особливостей мікроорганізмів. У процесі життєдіяльності мікробів частина атомів вуглецю окиснюється спочатку до карбонових кислот ($-COOH$), а потім до вуглекислого газу. Частина атомів вуглецю відновлюється до радикалів $CH_3 - \dot{C}H = \dot{C}H-$, що входять у склад клітини.

Біохімічне руйнування органічних речовин відбувається завдяки перебігу послідовних реакцій, під час яких первинна структура речовини поступово спрощується. Наприклад, при окисненні вуглеводів, жирів і деяких амінокислот, хоча й різними шляхами, утворюється однакова сполука – так званий «універсальний метаболіт» – ацетил-КоА, продуктами повного окиснення якого надалі є діоксид вуглецю й вода. Таким чином, механізм очищення стічних вод пов'язаний із перетворенням наявних там компонентів в екологічно безпечні метаболічні сполуки. Енергетичний обмін в організмах бактерій, що вимірюється інтенсивністю споживання кисню, значно перевищує обмін у клітинах вищих тварин і рослин. Бактерії легше за інші організми адаптуються до споживання нових органічних субстратів. Крім того, мікроорганізми відрізняються від макроорганізмів високою пристосованістю до умов навколишнього середовища.

Мікроорганізми, які окиснюють вуглець, живуть у верхній частині очисного реактора, а бактерії-нітрифікатори перебувають у нижній його частині, де більша конкуренція за кисень та поживні речовини.

Біохімічна деструкція білків до окремих молекул амінокислот, які містять функціональні карбоксильні ($-COOH$) та аміногрупи ($-NH_2$), що об'єднані атомом вуглецю, а також вуглецевий радикал R каталізується протеолітичними ферментами.

Під дією екзоферментів ланцюжки амінокислот розщеплюються й переводяться в стан, зручний для поглинання клітинами. Унаслідок внутрішньоклітинних процесів амінокислоти за участю ендоферментів далі руйнуються з виділенням вільного аміаку (процес амоніфікації).

Бактерії-амоніфікатори (в основному роду *Bacillus*: *B. subtilis*, *B. megaterium*) та безспоріві форми – представники родів *Pseudomonas*, *Micrococcus*, *Mycobacterium*, *Proteus*, *Arthrobacter* характеризуються споживанням багатьох органічних сполук. Незважаючи на те, що ці мікробні організми переважно утилізують білки, вони здатні також біохімічно перетворювати органічні кислоти й вуглеводи.

Біохімічне аеробне перетворення вуглеводів являє собою багатоступеневий процес, пов'язаний із ферментативною гідролітичною деструкцією полісахаридів до моносахаридів та з подальшим послідовним розщепленням останніх різними катаболічними шляхами.

Так, спеціалізовані міксобактерії при безпосередньому контакті руйнують целюлозу. Гриби роду *Fusarium*, *Trichoderma* та інші здатні гідролізувати целюлозу за звичайною схемою, виділяючи в зовнішнє середовище екзоферменти й розщеплюючи її надалі всередині клітини за допомогою ендоферментів до кінцевих продуктів – вуглекислого газу й води.

Жири (вищі жирні кислоти) розкладаються шляхом β -окиснення за участю АТФ через утворення спочатку активованої форми ацетил-КоА, яка залучається до подальших складних ферментативних реакцій. Кінцевими речовинами, які утворюються з метаболічних продуктів β -окиснення жирних кислот, є вода й діоксид карбону.

Процес аеробного окиснення характеризується повнотою, оскільки його метаболічними продуктами виступають прості низькомолекулярні сполуки (CO_2 , H_2O). Вони не здатні до подальшої деструкції в мікробній клітині й не мають резервної енергії для вивільнення.

Аеробні методи прийнято також розподіляти типом резервуара, у якому проходить окиснення речовин-забруднювачів. Резервуарами можуть бути біоінженерні споруди (БІС) у вигляді біологічних ставків – (так званих біоплато, полів фільтрації), а також використовують спеціальні апарати – біофільтри й аеротенки.

У **біологічних ставках** (біоплато) аеробне окиснення (процес мінералізації) органічних сполук відбувається за участю мікроорганізмів, водоростей і вищих водних рослин (очерету, рогозу, рдесту, ряски, водного шпинату, водного гіацинту та ін.). Сприятливими умовами для ефективного перебігу окиснювальних реакцій у штучно створених гідробіоценозах є незначна глибина резервуара, відсутність течії, велика кількість мікробіодоростей, які насичують воду киснем, достатня чисельність найпростіших, які живляться бактеріями тощо.

Застосування **біоплато** є – мало-масштабною, альтернативною, екологічно і економічно прийнятною технологією очищення. Дана технологія не чинить негативного впливу на НПС, оскільки не потребує внесення хімікатів та застосування додаткових джерел енергії (крім сонячної). Інженерні споруди типу біоплато відносяться до найбільш прогресивних методів природного біологічного очищення поверхневих вод, що одержали широке застосування в багатьох країнах світу, у світовій практиці ці споруди отримали назву «Constructed wetland». На сьогодні, вже відомо понад три тисячі біоінженерних споруд які експлуатуються в різних країнах світу, активні роботи з проектування ведуться в США, Данії, Німеччині, Франції, Великої Британії, Ірландії.

Біоплато – це водоохоронна споруда або конструктивний елемент гідротехнічної споруди природного чи штучного походження, в яких угруповання вищих водних рослин (ВВР), бактеріальне населення зарослів, донні, епіфітні та планктонні водорості, бактеріоперифітон (бактеріальна плівка, яка розвивається на підводній частині рослин і забезпечує високу інтенсивність деструкції) і зоопланктон використовується для очищення води від ЗР. Біоплато завдяки високій біохімічній активності ВВР стосовно речовин антропогенного походження, здійснюють деструкцію, трансформацію і акумуляцію азотовмісних речовин, нафтопродуктів, синтетичних поверхнево-активних речовин, ВМ та інших речовин токсичної дії, забезпечуючи біологічне очищення водних екосистем. Додатково також відбувається первинне утворення вуглецю рослинами, утворення кисню через фотосинтез, скорочення експорту органічних решток і поживних речовин в екосистеми, дезодорація – знищення гнилісного запаху води.

Природність процесу є істотною перевагою споруд фіторемедіації порівняно, наприклад, із біологічною очисткою в аеротенках, де процеси біодеструкції інтенсифіковані й суттєво відрізняються від природних.

Типи біоплато за конструктивними особливостями та місцем розташування.

Штучні біоплато на каналах за місцем їх розташування і конструктивними особливостями поділяються на: руслові, берегові, гирлові, наплавні.

Руслові біоплато створюють на мілководних розширених руслах каналу, через яке проходить весь об'єм потоку. При їх проектуванні враховують глибину та швидкість потоку. Площа застійних зон в біоплато повинна бути мінімальною.

Берегові біоплато розташовані вздовж берегів на схилах русла річки в зоні урізу води. Призначені для захисту каналу від забруднень з укосів, а також для укріплення берегів. Очищення води в цьому випадку проводиться тільки частиною потоку. Ширина смуг висадженого очерету або інших повітряно-водних рослин розраховується у відповідності до максимальної глибини проростання рослин і закладанням відкосу.

Гирлові біоплато розташовують в місцях впадання в канал забруднених малих річок при запланованому трасуванні каналів. Природні чагарники ВВР, що розвиваються в гирлових ділянках малих річок, виконують функції біофільтруючих насадок. При їх розміщенні в місцях сполучення з каналом створюються умови, сприятливі для відновлення чагарників.

Наплавні біоплато призначені для очищення верхнього шару поверхневих вод. В цьому випадку багаторічна ВВР розміщується в спеціальних плаваючих контейнерах, перпендикулярно до течії річки в місцях, де необхідно створити підвищений опір руху води. На відміну від берегових, вони розміщуються в зоні максимальної швидкості потоку. Вони добре зарекомендували себе в очищенні вод від плаваючих домішок (піни, пластівців, нафтопродуктів та ін.).

Інфільтраційні біоплато бувають вертикального і горизонтального типів, в залежності від напрямку подачі води через шари завантаження під час фільтрації. Вони являють собою земляні фільтруючі споруди з завантаженням із щебню, гравію, керамзиту, піску та інших матеріалів.

Дана інженерна споруда розміщується, як правило, в котловані глибиною 2 м, на дні якого встановлюється протифільтраційний екран із поліетиленової плівки. Поверх екрану укладають горизонтальний дренаж і шар щебню, піску, керамзиту чи іншого фільтруючого матеріалу.

На поверхні завантаження висаджуються найбільш стійкі дерево- чагарникові та (або) трав'яні рослини. Очищення води відбувається за рахунок життєдіяльності судинних рослин, макрофітів, мікроорганізмів біоплівки і ризосфери, а також грибів і актиноміцетів ризосфери коренів і у шарі перегною, що поступово формується.

Для підвищення ефективності очищення на практиці часто застосовують різні поєднання вищезгаданих типів біоплато, що призводить до формування в одній споруді різних потоків рідини.

З конструктивної точки зору біоплато поділяються на дві групи: повнопотокові (руслові, гирлові, інфільтраційні), які контактують з усім потоком і стрічкові (берегові, наплавні), що контактують лише з частиною потоку.

Конструктивна схема *комплексної інженерної біосистеми* – біоплато, рисунок 2.

Біоплато функціонує таким чином: шар біологічного завантаження берегового та наплавного біоплато, що складаються з біомаси гідрофітів та гідатофітів, поглинають політанти із НПС: радіонукліди, ВМ та інші токсичні сполуки зі стічних вод за рахунок кореневої системи рослин. На поверхні завантаження та кореневій системі рослини у біоплато утворюється бактеріоперифітон, який виконує деструкцію органічних речовин, біоплівка, в якій розвиваються різні мікроорганізми, а завдяки надходженню кисню в біоплато утворюються численні аеробно-анаеробні зони.

ВВР в процесі життєдіяльності насичують воду киснем, що створює умови для аеробних мікроорганізмів, які мінералізують органічні забруднення. Розчинні органічні речовини видаляються в процесі адсорбції, поглинання і діяльності мікроорганізмів. Корені рослин через патрубки проростають і укорінюються на дні, тим самим поглинаючи політанти із донних відкладів за участю всіх складових ризосферного біоценозу.

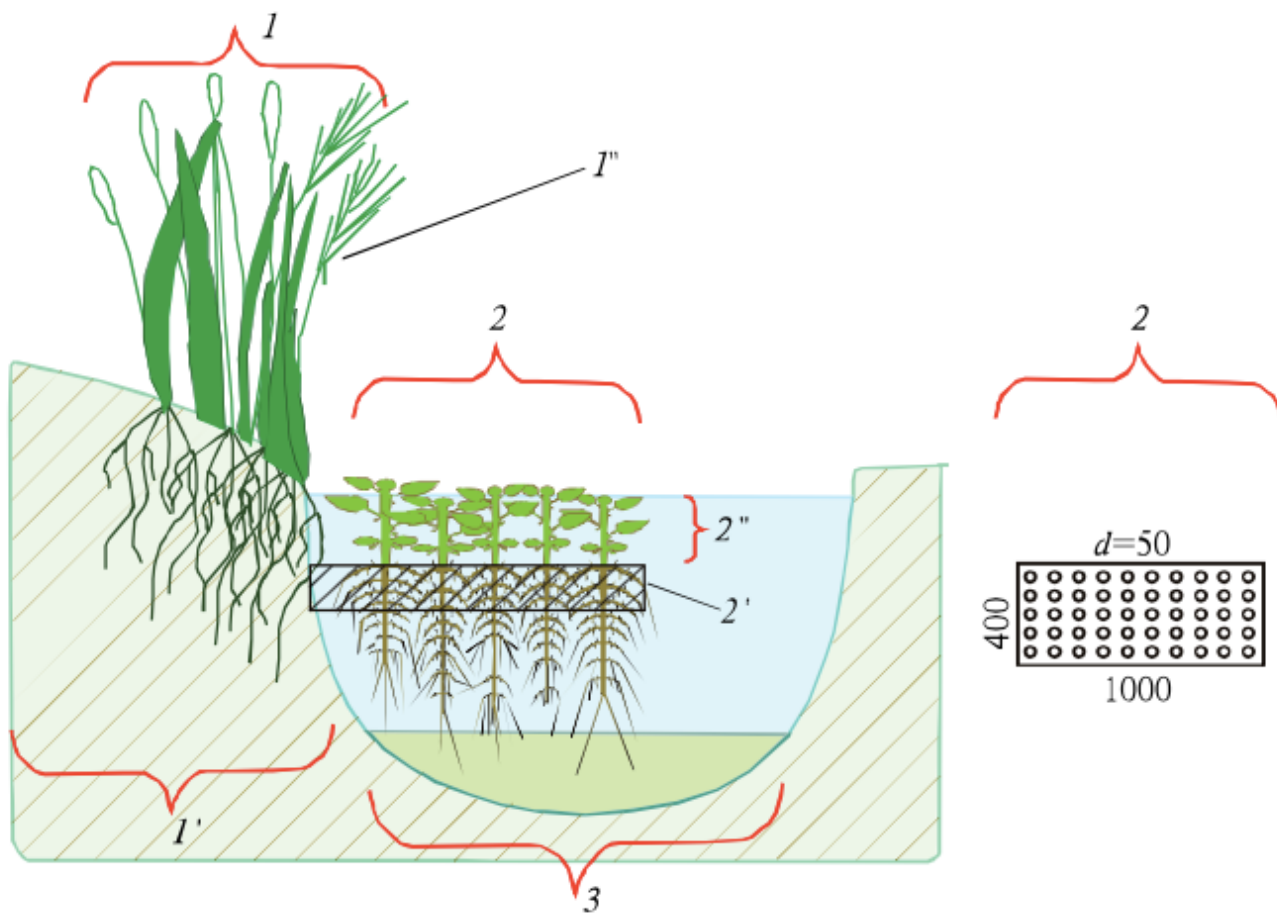


Рис. 2 – Конструктивна схема комплексної інженерної біосистеми – біоплато.

1 – берегового біоплато, 1' – прибережна зона, 1'' – рослини гідрофіти; 2 – наплавне біоплато, 2' – решітка із синтетичного матеріалу з патрубками для рослин гідрофітів, 2'' – занурена у товщу води частини рослин; 3 – дно річки.

Відомі біоінженерні системи, які застосовують для покращення якісного стану водного середовища, мають той недолік, що внаслідок їх застосування покращується лише поверхневий шар води, при цьому донні відклади не очищаються і стають джерелом вторинного забруднення водойм.

Перевагою запропонованої конструкції є саме очищення донних відкладів, адже значна частина токсикантів, що потрапляють у водойми, адсорбується завислими речовинами і під впливом гравітаційних сил осідає на дно, де накопичується. Донні відклади акумулюють ЗР до рівнів, що значно перевищують їх вміст у водній товщі. Накопичуючись в силу уповільнення течії на деякій відстані від джерела первинного забруднення, токсичні речовини можуть бути причиною погіршення стану водойм на значній відстані від нього.

При зміні гідродинамічних умов (зміна швидкості течії, вітрове перемішування водних мас) і фізико-хімічних умов (рН, окиснювально-відновні умови, солоність, температура тощо) у придонних шарах води, речовини, що містяться в донних відкладах, здатні переходити у водну фазу, зумовлюючи вторинне забруднення водойм, в деяких випадках більш токсичне.

Підбір рослин для біоплато варто проводити із врахуванням поширених місцевих видів ВВР, які добре адаптовані до необхідних кліматичних умов. Для створення біоплато переважно використовують повітряно-водні рослини різних видів: очерет, рогіз, комиш, гіацинт, в умовах північного клімату це переважно різні види: пушиці, хвоща, осоки. Серед занурених видів найпопулярніші рдести, уруть, роголистники. На початку біоплато висаджують очерет (35–45 рослин на 1 м²), далі – комиш (35–45 рослин на 1 м²), а потім – рогіз (25–30 рослин на 1 м²). Вздовж біоплато рекомендується насаджувати аїр болотний, що має високу бактерицидну здатність і повністю нейтралізує неприємний запах. Оптимальна глибина занурення рослин у воду – 0,5–1 м.

ВВР крім очисних функцій, забезпечує підвищену транспірацію рідини, яку очищають, в літній період приблизно 10–15%. Цю властивість ВВР використовують для пришвидшення підсушування мулових ділянок, підвищення пропускнувості і ефективності очистки фільтраційних полів.

Під впливом рослин, особливо занурених, вміст кисню збільшується, в результаті чого органічні речовини швидко окиснюються, пришвидшується процес нітрифікації, посилюється поглинання фотосинтетиками вільної вуглекислоти. ВВР, особливо занурені, здатні затримувати і осаджувати мінеральні та органічні суспензії. Процес розкладання осаджених з води органічних розчинів (суспензій) локалізованих з певної площі і протікає на поверхні субстрату, а не у воді. Це виключає можливість виносу органічних речовин, продуктів їх розпаду, бактерій і фітопланктону за межі біоплато. Біогенні речовини, асимільовані ВВР, накопичуються у надземній фітомасі і кореневій системі, цим самим надовго виключаючись із кругообігу.