Лекція № 5

**БІОЛОГІЧНЕ ОЧИЩЕННЯ СТІЧНИХ ВОД. ЗМІСТ І МЕЖІ ЗАСТОСУВАННЯ БІОЛОГІЧНОГО ОЧИЩЕННЯ ВОДИ**

Зміст біологічного очищення води полягає у свідомому застосуванні гідро­біонтів для звільнення води від небажаних домішок.

***Гідробіонти****—*це мікроорганізми, представники тваринного і рослинного світу, які живуть у воді.

Досягнення мікробіології, гідробіології та біотехнології останніх десятиліть дають змогу стверджувати, що сучасні біологічні методи можна успішно використовувати для очищення води від усіх без винятку розчинених у ній органічних сполук у будь-яких концентраціях, від іонів важких металів, нітратів, сульфатів, хроматів, аміакатів та від небезпечних біологічних агентів (хвороботворних бактерій, вірусів тощо). Завдяки біологічному очищенню можна не лише знешкодити стічні води, а й відтворити якість води, використаної в промисловому виробництві, побуті, сільському господарстві чи забрудненої внаслідок техногенних аварій на водоймах. З огляду на його відносну дешевизну (а іноді й прибутковість), надійність та екологічну бездоганність біологічне очищення води має безсумнівну перспективу закріпити свою чільну роль в охороні водного басейну від забруднення.

***Загальноісторичні аспекти біологічного очищення води***

Будь-які водойми — від найменшого потічка до Світового океану — споконвічне і незмінно забруднюються як ззовні, так і зсередини, адже у поверхневі води потрапляють змиті з землі дощами і повенями різноманітні предмети і забруднення, падають і заносяться вітром зів'яле листя, пожухла трава і пил, руйнуються береги, відмирають дерева; забруднюється вода також і екскрементами та рештками своїх власних гідробіонтів. Проте всі ці нечистоті "переробляються" у воді, розкладаються, асимілюються, перетворюються в результаті багатоступінчастих біологічних процесів.  Чистота води постійне відновлюється, водойми самоочищаються.

Ще донедавна люди не дуже переймалися тим, куди дівати відходи. Міста,  як правило, розміщались на узбережжях річок та морів, куди й зливались всілякі нечистоти. Про наслідки такої поведінки ніхто не задумувався. Час від часу, правда, виникали епідемії, що відбирали життя в не меншого числа людей, ніж найбільш тривалі і жорстокі війни, однак нікому в голову не приходило пов’язувати ці нещастя з антропогенним забрудненням води.

Україна завжди приділяла і приділяє належну увагу охороні водного басейну. Давні народні традиції зобов'язували українців благоговійно ставитись до джерел, річок та озер. Не випадково саме в Україні вперше в Російській імперії було створено і введено в експлуатацію штучні біологічні споруди — поля зрошення: у 1887 р. в Одесі та в 1894 р. — у Києві. В Москві такі споруди з'явилися в 1898р.

Обробка води на полях зрошення належить до так званих ґрунтових методів природного очищення води, які ґрунтуються на використанні як біологічних (гниття, біоокиснення), так і фізичних (випарювання, фільтрування, відморожування) процесів. Ґрунтові методи передбачають влаштування примітивних споруд, обвалувань, дамб. Різноманітність засобів ґрунтового очищення свідчить про багату фантазію людей, які намагаються просто розв'язати складні проблеми. Так, споруджують фільтрувальні колодязі (ФК), фільтрувальні траншеї (ФТ), піщано-гравійні фільтри (ПГФ), майданчики та поля підземного зрошення (ППЗ), майданчики та поля підземного фільтрування (ППФ). Усе це малопотужні споруди, пропускна здатність яких не перевищує 1 тис. м3 стічних вод на добу.

Для ґрунтового очищення великих мас стічних вод (десятки й сотні тисяч кубічних метрів на добу) використовують комунальні поля зрошення (КПЗ), орні поля зрошення (ОПЗ), поля наземного фільтрування (ПНФ).

Великого поширення набули біологічні ставки та лагуни — штучно створені водойми, в яких очищення відбувається завдяки природним процесам самоочищення. Ці процеси іноді трохи стимулюються додатковою примусовою, здебільшого механічною, аерацією. Окислювальна здатність біоставків і лагун дуже невисока, функціонують вони переважно в теплу пору року, займають величезні території, забруднюють повітря, поверхневі водойми та підземні водоносні горизонти. Процеси, що відбуваються в них, є практично некерованими і малоефективними. Ще більш ефективними і простими є біоплато.

Біоплато призначене для доочистки в природних умовах біохімічно окислюваних розчинних органічних речовин поверхневого стоку, поступаючих із акумулюючої ємкості очисних споруд, пройшовших механічну очистку (відстоювання та фільтрацію) та являє собою мілководний ставок, засаджений вищою водною рослинністю (ВВР), які використовуються в якості біофільтру.

Механізм роботи біоплато заснований на самоочищенні стічних вод, що включає комплекс процесів: біохімічне окислення, фотоокислення, фільтрацію, мінералізацію, адсорбцію, хемосорбцію та ін., при контактуванні вод з макрофітами.

В присутності макрофітів нафтова плівка швидко руйнується мікроорганізмами, що входять до складу перифітону. Основна маса характерних мікроорганізмів - це факультативні аероби та оліготрофні бактерії, що характеризуються добре вираженою здатністю руйнування вуглеводнів, з включенням їх в загальний кругообіг речовин водойми.

Безсистемна висадка ВВР не дозволяє отримати високу ефективність очистки стічних вод. Тому в проекті передбачений технічно більш досконалий спосіб посадки рослинності на затопляємих дамбах, який підвищує ефект доочистки за рахунок:

-         створення екологічної секційності в ставку, що забезпечує утворення біоценозу, характерного для даної секції та для даної полоси зарослів макрофітів, та сприяє повному зняттю забруднень при проходженні від першої до останньої дамби;

-         усунення повної затіненності акваторії ставка та нормалізації умов фотосинтезу рослин та водорослів, забезпечуючи аеробні процеси на всіх його ділянках, а також попередження негативного впливу ультрафіолетового опроменінення бактерій, що ведуть окислення;

-         влаштування, в разі необхідності, в міждамбових ділянках механічних аераторів;

-         механізація трудомістких процесів прибирання та посадки рослинності;

-         попередження вітрового переміщення, негативно впливаючого на ефект доочистки і особливо від плівки нафтопродуктів.

Для найбільш повного використання очищувальної здатності рослин та забезпечення водообміну по всій площі заростів (попередження утворення застійних зон) передбачається реалізація способу очистки води в біоставках, відрізняючою особливістю якого являється періодичне переміщення очищеної води в вертикальному та горизонтальному напрямках за рахунок зміни рівня води в біоставку.

Весь процес створення біоплато із очерету складається з ряду послідовних операцій:

-  підготовка посадочних місць;

-  заготовка, транспортування та вигрузка посадочного матеріалу - кореневищно-ґрунтової маси (КГМ);

-  посадка (укладка) КГМ;

-   закріплення КГМ та відкбсів дамб;

-   затоплення дамб водою.

Ставок потребує організованого догляду та експлуатації, в основному раціонального зняття врожаю вищих водних рослин та періодичної зміни рівня горизонту вод. Від виконання цих заходів в значній мірі залежить ефективність очистки стічних вод.

*Підготовка посадочних місць*

Після влаштування чаші біоставка та засипки суглинком виконуються роботи по влаштуванню дамб для посадки ВВР - підготовка посадочних місць.

З метою максимальної механізації всіх операцій зі створення біоплато рекомендується по кожній дамбі виконувати весь комплекс робіт, тобто відсипка дамби, посадка КГМ, закріплення КГМ та відкосів щебнем, і лише після цього приступати до наступної дамби.

Після виконання всіх робіт необхідно очистити міждамбовий простір від грунту, щебню, КГМ до засипки. Насип з'їзду в біоставок не прибирають.

*Заготовка, транспортування, вигрузка та посадка КГМ*

В ході передпроектних робіт були проведені рекогносцировочні пошуки кар'єру посадочного матеріалу, необхідного для створення біоплато.

Перед початком розробки кар'єру необхідно виконати наступні роботи:

-  влаштування під'їзду до кар'єру;

-  доочистку зарослів від старника (минулорічного сухого стеблестою).

Очистку зарослів від старника виконують бульдозером, не порушуючи кореневищно-ґрунтової маси та не змішуючи її з сухими частинами очерету.

На очищеному від сухостою кар'єрі розробку КГМ виконують одноковшевим екскаватором Э-653 на гусеничному ходу, обладнаному ковшем типу "драглайн" ємкістю 0,65-0,8 куб.м. Екскаватор застосовується з видовженою стрілою. Радіус екскавації досягає 14 м, що на заболочених ділянках має істотне значення.

Екскавація ведеться на глибинуне більше 1,0 м з тим, щоб вибирати грунт, насичений живими кореневищами очерету. Розробка КГМ ведеться з одночасною погрузкою на автосамосвали .

Для транспортування КГМ найбільш придатні автосамосвали середньої вантажопідйомності 4,5-5,0 тонн підвищеної прохідності.

Вигрузка КГМ проводиться безпосередньо на місце укладки.

Посадка очерету виконується шляхом укладки кореневищно-ґрунтової маси по верху дамб шаром 40 см.

Розрівнювання виконується бульдозером Д606 або аналогічної потужності. Після розрівнювання необхідно провести придавлювання та ущільнення КГМ ножем бульдозера оберненим ходом , а також гусеницями базового транспорту.

При посадочних роботах необхідно враховувати, щоб період між розгрузкою КГМ із автосамосвалу та часом розрівнювання та ущільнення не перевищував 10 днів. В цілях створення сприятливих умов для росту очерету необхідно проводити систематичне поливання вкладеного шару КГМ аж до затоплення дамб.

У випадку пошкодження посадок ВВР різноманітними факторами необхідно виконати ремонт пошкоджених місць біоплато шляхом місцевих посадок нових рослин .

Роботи виконуються вручну. Посадку нових рослин проводять пагонами очерету довжиною 80 см з непорушеними кореневищами. Нижню частину пагона (кореневище) опускають в лунку глибиною 30 см та засипають.

Лунки, віддаль між якими 50 см, роблять лопатою, яку заглиблюють в грунт на глибину 30 см, потім наклоном відсувають щебінь та грунт та в утворену лунку висаджують 2-3 пагони. В міру підйому лопати щебінь та грунт, насуваючись, заповнюють лунку, забезпечуючи посадкам необхідну стійкість.

Рівень води перед посадкою ВВР знижують на 40-50 см нижче верха дамб.

З метою зниження затрат по догляду за КГМ в період її укладки необхідно роботи вести інтенсивно, забезпечити закінчення всіх робіт не більше ніж за 10 діб.

Після виконання всіх вищеперерахованих операцій проводиться затоплення дамб, тобто заповнення секцій водою до відмітки 198,00. При цьому затвори в камері К2 повинні бути відкриті, чим забезпечується постійний рівень води в секціях на період вегетації (росту) рослин. Воду постійно необхідно додавати, підтримуючи рівень 198,000.

При досягненні щільності рослин на дамбах 120-200 одиниць на 1 кв.м та висоті не менше 1,5 м  біоставок вводиться в експлуатацію.

*Експлуатація біоставка та експлуатаційний догляд*

Для забезпечення високого ступеня очистки та збільшення швидкості процесу очистки передбачається періодична зміна горизонта стічних вод в біоставку.

Дослідження впливу густоти зарослів на біологічні показники, а головне, на ефект доочистки, показали, що оптимальним покриттям рослинами являється 30-50 % від площі ставка, при щільності 150- 200 одиниць на 1 кв.м.

Задану щільність визначає режим прибирання та зкошування врожаю очерету, в зв'язку з цим необхідно :

-  один раз в рік в літній період проводити очистку від зарослів всіх міждамбових ділянок по всій акваторії ставка;

-  один раз в рік по льодовому покриву провести зкошування сухостою очерету та видаляти його за межі ставка, категорично забороняється зпалювання сухостою в акваторії ставка. Зкошування сухостою може бути проведено або пізньою осінню (жовтень -листопад ), або ранньою весною (березень-квітень) , використовуючи очеретокосилку "Эзокс-3", КТС-26, КП-0,7 або інші, в плаваючому варіанті (навішуємі на човен), попередньо знизивши рівень води до відмітки 198,000. Рослини зрізають, залишаючи стебла біля основи на 10-15 см вище рівня води. Зкошену рослинність обов'язково забирають зі ставка;

-  щорічно,  перед  новою вегетацією рослин, очищають біоставок від полеглої та плаваючої минулорічної рослинності.

До індустріальних, штучних методів біотехнології очищення належить обробка стічних вод аеробними (у біофільтрах, аеротенках тощо) та анаеробними (у метантанках, біореакторах тощо) організмами.

Штучні методи очищення води також відомі здавна. Спочатку виникла ідея (у 1893 р. Її було реалізовано в Англії) біологічного фільтрування води крізь спеціальне завантаження, що обросло біологічною плівкою. В Англії (м. Екзетер) у 1895 р. Було введено в експлуатацію так званий септик — споруду для анаеробної обробки комунальних стічних вод. Через два роки подібний септик було споруджено в Індії (м. Бомбей). У 1914 р. В Англії було створено перший аеротенк, робота якого ґрунтувалася на функціонуванні дуже складного біоценозу, що дістав назву ***«активний мул».***Останнім часом проводять дослідження й реалізують на практиці очищення деяких промислових і побутових стічних вод за допомогою анаеробних мікроорганізмів — як вільноплаваючих (завислий або гранульований анаеробний мул), так і прикріплених (іммобілізованих) до різноманітних насадок.

Біологічне очищення води було, є і буде основним методом охорони природних вод від хімічного та біологічного забруднення. В перманентному і вічному самоочищенні води гідробіонти беруть участь з моменту їхньої появи у воді. Абсолютно всі вони завдячують своїм існуванням незбагненному, гідному подиву, шаленому потягу до розмноження, а також тим органічним речовинам, які потрапляють у воду з ґрунту чи повітря або утворюються в результаті фотосинтезу і які з погляду людини є речовинами, що забруднюють воду, а для гідробіонтів-гетеротрофів вони є єдиним джерелом живлення.

Біотехнологія очищення води у всіх високорозвинених країнах — найбільш великотоннажна не тільки серед біотехнологій (давніх, як випікання хліба, одержання кисломолочних продуктів та продуктів бродіння; нових, як біосинтез лікарських засобів типу антибіотиків, інтерферону чи інсуліну), а й серед відомих людині технологій взагалі. В Англії, наприклад, біологічно очищають за добу більше води, ніж виготовляють сиру, молока, м’яса за рік. Згідно з елементарним підрахунком, у колишньому СРСР протягом року піддавалось біологічному очи­щенню приблизно стільки ж тонн стічних вод, скільки видобувалось корисних копалин, вироблялось сільськогосподарської та промислової продукції за десять років.

**1. Основи біологічного очищення води**

Як і будь-яка інша біотехнологія, біологічні методи очищення води ґрунтуються на використанні тих чи інших живих істот, їхніх комплексів — біоценозів. Таких біоценозів вочищенні води нині відомо п'ять:

1) біоплівка;

2) активний мул;

3) анаеробні мікроорганізми, зокрема гранульований мул;

 4) селекціоновані мікроорганізми — деструктори певних забруднень;

 5) гідробіоценозні, що становлять просторову сукцесію (біоконвеєр).

Саме ці біологічні угруповання є основою всіх існуючих біотехнологій очищення води: найрізноманітніших біофільтрів (з гравійним, піщаним чи синтетичним завантаженням; вертикальних чи новітніх — горизонтальних, що звуться мочарами, занурених у воду, чи інтенсивно провітрюваних тощо); аеротенків, окситенків різних типів і калібрів (витискувачі, змішувачі, циркуляційні, шахтові, баштові тощо), бактеріальних біореакторів, низки анаеробних споруд з висхідним чи низхідним потоком, з рециркуляцією чи без неї; нарешті, прямотечійні мікробіо-, зоо- та фітореактори. Людина придумала силу-силенну технічних пристроїв, споруд, апаратів для біологічного очищення води, проте всі вони спираються на перелічені вище п'ять типів біологічних агентів, які споконвічне існують у природі. У будь-якому потічку каміння та інші тверді предмети слизькі від біоплівки; немає озерця без мулу на дні — верхній шар якого аеробний, нижній — анаеробний; найкращі бактерії-деструктори живуть у ґрунті, що зрошується забрудненими водами; в кожній річці, що інтенсивно забруднюється органічними речовинами, можна спостерігати просторову сукцесію гідробіонтів, яка забезпечує поступове самоочищення води в ній. Однак історія називає поіменно тих, хто вперше запропонував використання того чи іншого типу біоценозу, і фахівці з очищення води знають, що активний мул "придумали" англійці Ардерн і Локкет, мікробіологічний ме­тод — наша співвітчизниця, дослідниця з Києва                 Наталія Путиліна, гранульований анаеробний мул — нідерландський учений Леттінга. Сподіваємось, що за біоконвеєром в очищенні води закріпиться назва Інституту колоїдної хімії та хімії води НАН України.

**2. Принципова технологічна схема механо-біолого-хімічного очищення стічних вод**

Біологічне очищення є основою, серцевиною зовні простого до примітивності, а насправді надзвичайно складного процесу перетворення брудної, токсичної рідини — промислових чи побутових стічних вод — на чисту, екологічно безпечну, біологічно повноцінну воду. Повний набір цього традиційного, можна навіть сказати класичного, процесу включає такі три стадії: 1 ) первинне — механічне очищення; 2) вторинне — власне біологічне очищення; 3) третинне — фізико-хімічне доочищення стічних вод (рис. 1 ).

Під час механічного очищення стічна вода *3*проходить крізь решітки 4, де затримуються грубі механічні домішки, потім крізь пісковловлювач *5,*де відокремлюється пісок, і, нарешті, потрапляє у первинні відстійники 6, де завдяки силам гравітації все, що важче за воду, осідає на дно, збирається і відкачується в метантенки *1*на зброджування або через певний проміжок часу (іноді один раз за квартал) випускається на мулові майданчики з дренажем *2,*а все, що легше за воду, підіймається на поверхню води, де згрібається спеціальними пристроями в бункер і теж направляється в метантенк.

Біологічні процеси відбуваються у воді на всіх етапах проходження її крізь очисні споруди. Більше того, вони розпочинаються в момент утворення стічних вод, тривають під час збирання і транспортування цих вод до очисних споруд (у каналізаційних мережах.

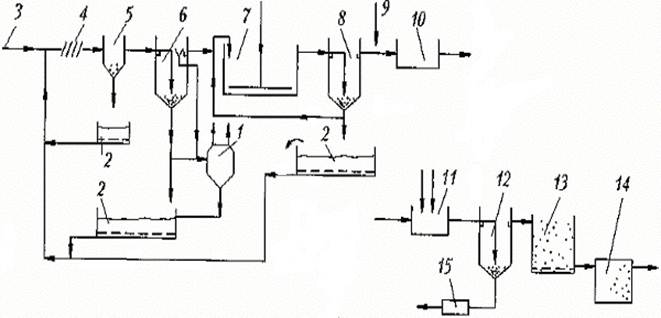


Рис. 1 Загальна схема очищення стічних вод:

1 — метантенк; 2 — мулові майданчики; 3 — стічна вода; 4 — решітки; 5 — пісковловлювач; 6 — первинний відстійник, 7 — біореактор (аеротенк); 8 — вторинний відстійник; 9 — ємність для хлорування; 10 — контактний резервуар; 11- ємність для флокуляції-коагуляції; 12 — відстійник; 13 — піщаний фільтр; 14 — фільтр з активованим вугіллям; 15 - згущувач осаду

Однак найбільш помітне біологічне очищення стічних вод відбувається саме на другій — біологічній — стадії, де вже згадувані біоплівка, активні аеробні чи гранульовані анаеробні мули, спеціально селекціоновані мікроорганізми-деструктори чи сформовані у трофічний ланцюг гідробіоценози у спеціально створених для них умовах у відповідних спорудах інтенсивно розмножуються, споживаючи з води органічні сполуки та інші речовини, які ми розглядаємо як забруднення. Біомасу гідробіонтів, що наростає під час очищення води, відділяють у так званих вторинних відстійниках 8 ( рис.1), звідки її подають або в метантенки 1, або на мулові майданчики 2.

Третинне очищення води полягає в основному у спробі знезаразити воду — знищити можливо наявні в ній епідемічне небезпечні організми та вібріони (збудники захворювань травного каналу — холери, дизентерії, гепатиту тощо). Для цього використовують переважно хлорування, іноді — опромінювання ультрафіолетовим світлом, ще рідше — озонування. У разі обробки очищених стічних вод хлором *9*їх витримують протягом 20—30 хв. у контактних резервуарах *10,*після чого скидають у відкриті водойми. Експериментальне доведено, що така обробка води, яка містить значні кількості (десятки міліграмів у літрі) органічних речовин (а сюди належать усі без винятку, навіть найретельніше очищені стічні води і переважна більшість поверхневих природних вод), призводить до утворення найрізноманітніших хлорорганічних речовин — від не дуже шкідливого хлороформу до надтоксичних діоксинів, серед яких трапляються дуже активні і смертельно небезпечні мутагени. Тому деякі вчені вважають хлорування стічних вод абсолютно неприпустимим, навіть злочинним актом. Для повного, надійного і безпечного доочищення води у світі розробляються різноманітні схеми, найтиповіша з яких включає процеси обробки флокулянтами і коагулянтами *11,*відстоювання *12,*фільтрування крізь пісок *13*і, нарешті, крізь активоване вугілля *14.*Осади, що утворюються внаслідок коагулювання і відстоювання, згущують на центрифугах, фільтрпресах чи барабанних вакуум-фільтрах *15*і складують у балках, яругах чи на звалищах.

**3. Очищення води за допомогою біоплівки**

Біоплівка — головний дійовий гідробіоценоз таких очисних споруд, як біофільтри та обертові біоконтактори.

Типовий, "класичний" біофільтр — це кругла, багатогранна чи прямокутна в плані залізобетонна ємність 6 (рис.2) з несправжнім дном 7, в яку вміщено (насипано) завантаження 3. На цій поверхні розвиваються найрізноманітніші гідробіонти, що власне і становлять біоплівку. Стічна вода 4, що надходить на очищення, розбризкується тим чи іншим пристроєм 5 по всій поверхні завантаження біофільтра, стікає, омиваючи біоплівку, вниз і збирається у піддоні 9, звідки насосом 1 рециркулюється крізь біофільтр для повторного її очищення.  Для забезпечення біоплівки, що обростає завантаження   в  усьому  тілі біофільтра, киснем повітря в нижній  частині  біофільтра передбачено   вентиляційні вікна *2.*

Diagram of a diagram of a grid

Description automatically generated with medium confidence

Рис. 2. Біофільтр:

1 — насос; 2 — вентиляційні вікна; 3 — завантаження; 4 — подача стічної води; 5 — розбризкувальні пристрої; б — корпус біофільтра; 7— несправжнє дно; 8 — відведення очищеної води; 9 — піддон

Для запобігання замерзанню води в біофільтрах їх споруджують у приміщеннях або укомплектовують вентиляційними системами з калориферами. На період роботи вентиляторів і підігрівання повітря (взимку) вентиляційні вікна 2 герметизують.

Сучасні невеликі біофільтри, призначені для локального очищення стічних вод окремих будинків, вкопують у землю або обваловують, зверху герметизують кришками, в яких монтують маленькі вентилятори, що подають повітря крізь завантаження біофільтра згори вниз. Виходить повітря з біофільтра по тій самій трубі, по якій витікає очищена вода.

За типом завантаження біофільтри поділяють на дві категорії: з об'ємним і плоским завантаженням. У разі об'ємного, як правило, насипного завантаження застосовують гравій, керамзит, шлак, кільця Рашига, Полля, сідла Берля, "інталькс", пластмасові вироби різноманітних конфігурацій та розмірів. Питома поверхня об'ємного завантаження становить від 70 до 300 мг/м3. Плоске завантаження — це переважно блокові вироби з шиферу, пластмас, тканин, ниток, волокон (виготовлених, наприклад, у вигляді "йоржів" чи "вій") тощо. Питома поверхня їх може досягати 10 000 м2/м3.

Біофільтри не потребують особливих затрат на аерацію. Однак вважається, що біофільтр не може нормально функціонувати без рециркулювання рідини, яку очищають, бо основна маса води проходить крізь біофільтр дуже швидко, і за цей короткий проміжок часу весь бруд не встигає осісти на біоплівці, що міститься на насадці. Однак рециркулювання має свої недоліки, пов'язані не лише зі значними витратами електроенергії на перекачування води, а й зі збільшенням об'ємів відстійників, підвищенням навантаження на біофільтр за забрудненнями, схильністю до кольматації завантаження, а найголовніше — з вирівнюванням якісного складу біоценозів біоплівки по всій висоті біофільтра. Доречно зазначити, що біоплівка на зернах піску виконує чи не найважливішу роль в очищенні питної води від розчинених органічних сполук під час пропускання її крізь шар піску, особливо в так званих повільних фільтрах.

Своєрідним різновидом біофільтра можна вважати відносно новий тип очисних споруд, що набуває всезростаючої популярності в США, Великій Британії, Нідерландах та інших країнах, а саме — мочари.

***Мочари***— це *інженерна споруда в землі, "лежачий біофільтр"*(рис. 3) з *гравійним завантаженням 2, розміщеним невеликою товщиною (до 1 м) на надійній гідроізоляції 1 з синтетичної плівки.*Стічна вода *4*після ретельного механічного очищення розподіляється по ширині мочари перфорованою трубою З і дуже повільно просочується впродовж тривалого часу (1—3 доби) крізь обросле біоплівкою завантаження 2, на якій, крім того, щільно ростуть водяні рослини 5 — рогіз, комиш, водяний перець, череда, аїр тощо, які сприяють аерації води, що очищається, вилучають з неї біогенні елементи, зокрема фосфор, калій, азот, а також важкі метали, і завдяки своїй розгалуженій кореневій системі   збільшують   поверхню   обростання   біоплівкою.

Очищена вода збирається перфорованою трубою *6*і відводиться в найближчий потік. Така очисна споруда не потребує жодних енергетичних затрат на аерацію, переміщення води, вона проста в обслуговуванні, екологічно бездоганна і повинна зайняти гідне місце *в*системі очищення стічних вод в Україні.

Біоплівка є основою функціонування ще одного типу очисних споруд, об’єднаних загальною назвою ***обертові біоконтактори.***Це напівзанурені у стічну воду металеві або пластмасові диски, барабани з різноманітних синтетичних матеріалів у вигляді склеєних між собою під різними кутами листів шиферу, волоконних йоржів, "вій", що інтенсивно обростають біоплівкою. Ці диски чи барабани прикріплені до вала, що повільно (1—4 оберти за хвилину) обертається, і біоплівка, яка наростає на розвиненій поверхні біоконтакторів, постійно то занурюється у стічну воду, перемішуючи її та сорбуючи й адгезуючи з неї розчинені та завислі органічні речовини, то підіймається у повітря, де добре аерується й окислює (розкладає, мінералізує) зазначені забруднення. Частина біомаси зривається водою, суспендується в ній і теж бере участь в її очищенні. Надлишкова біомаса виноситься з очищеною водою у вторинний відстійник, де й осідає.

Diagram of a diagram showing a plant growing process

Description automatically generated with medium confidence

Рис.3 Схема мочар:

1 — гідроізоляція; 2 — гравійне завантаження; 3 — розподільна труба; 4 — стічна вода; 5 — водяні рослини; *6*— труба збору очищеної води

Біоконтактори використовують, як правило, на біологічних очисних спорудах невеликої потужності, їх розміщують в обвалованих ґрунтом приміщеннях.

Біоплівка має низку незаперечних достоїнств. Вона дуже стійка проти будь-яких змін у складі та кількості стічної води, не боїться залпових скидів, витримує короткочасну негативну дію токсичних речовин, швидко відновлює свої очисні функції після зняття збурювальних чинників.

**4. Активний мул в очищенні стічних вод**

Активний мул використовують в аеротенках. "Класичний" аеротенк 4 (рис. 4) — це залізобетонний канал завглибшки 4—5 м, завширшки 3—11 м (залежно від потужності), завдовжки 50—150 м (залежно від ступеня забрудненості стічних вод). Стічну воду 2 подають з одного або декількох місць, вона контактує з регенерованим активним мулом, переміщується й аерується повітрям 3, що подається в розміщений на дні аеротенка пристрій 5 для розпилення повітря. Після біологічного очищення, яке триває 4—48 год., вода перетікає у відстійник *10, в*якому активний мул 9 осідає, й основну його кількість — так званий "зворотний мул" — за допомогою ерліфта чи насоса 6 подають "в голо­ву" аеротенка, в ту його частину, що зветься "регенератором" *1,*де за інтенсивної аерації відбувається, як вважають деякі дослідники, відновлення якості активного мулу: він перетравлює сорбовані раніше зі стічних вод органічні сполуки, особливо ті, що розкладаються повільно, "голодніє" і готується до інтенсивного очищення нової порції свіжої стічної води *2.*

A diagram of a machine

Description automatically generated

Рис. 4. Схема класичного аеротенку:

1 — регенератор; 2 — стічна вода; 3 — повітря; 4 — аеротенк; 5 — пристрій для розпилювання повітря; 6 — насос; 7 — зворотний мул, 8 — надлишковий мул; 9 — осад активного мулу; *10 –*відстійник

Надлишок активного мулу, що так і зветься "надлишковим мулом" 8, подають на стабілізацію, ущільнення, зневоднення, складування, а в міру можливості й на подальше використання, наприклад, для одержання біогазу, добрив тощо.

Взагалі осади, що утворюються під час очищення стічних вод, у тому числі й надлишковий активний мул, є дуже непростою проблемою, над розв'язанням якої працює вже не одне покоління науковців в усьому світі.

Створено багато найрізноманітніших конструктивних модифікацій аеротенків. Класифікують аеротенки за численними ознаками:

***конструктивними:***прямокутні, круглі, овальні, комбіновані, баштові, шахтні, фільтротенки, флототенки та ін.;

***структурою потоку:***витискувачі, змішувачі, комірчаного, проміжного типу із розосередженим випусканням рідини, яку очищають, з нерівномірно розподіленим подаванням стоку;

***способом* *відокремлення активного мулу та його регенерації:***аеротенки з відстійниками та регенераторами, розміщеними окремо, сумісні з " відстійниками та регенераторами;

***навантаженням на мул:****з*великим, звичайним і низьким навантаженням;

***кількістю ступенів:***одно-, дво- та багатоступінчасті;

***типом системи аерації:****з*пневматичною, механічною, поверхневою, за­глибною, пневмомеханічною, комбінованою, гідродинамічною системами;

***типом аерації:***звичайні аеротенки (з аерацією повітрям) та окситенки (з аерацією киснем або повітрям, збагаченим киснем).

Аеротенки мають незаперечні позитивні якості, що особливо виявляються під час очищення побутових стічних вод: це і їхня конструктивна простота, надійність у роботі (коли очищаються стабільні, нетоксичні і помірно концентровані за забрудненням стічні води), відносна дешевизна обробки води тощо. Однак така велика різноманітність аеротенків викликає сумнів щодо високої досконалості цих споруд. Труднощі, з якими стикаються виробничники під час експлуатації аеротенків для очищення промислових стічних вод у разі потрапляння в стічні води токсичних речовин (ксенобіотиків, іонів важких металів), залпових скидань тощо, які часто супроводжують очищення стічних вод, стимулюють пошуки нових рішень. Очевидно, що ці пошуки слід проводити не тільки в інженерному, а й у біологічному напрямі.

Найбільша технологічна цінність активного мулу полягає в його здатності утворювати великі і досить важкі конгломерати — флокули, які відносно легко і швидко (протягом 1,5—2 год.) осідають у звичайних гравітаційних відстійниках, відокремлюються від очищеної ними води. Вода стає прозорою і чистою.

Частину активного мулу можна спрямовувати на початок аеротенка і тим самим забезпечувати потрібну концентрацію (засів, "закваску") активного мулу в стічній воді, що надходить на очищення. Однак технологічно привабливе рішення із зворотним активним мулом не витримує критики з біологічного погляду. Адже в цьому разі біоценоз аеробних гідробіонтів, які живуть у відносно чистій воді в кінці аеротенка, після не менш ніж півторагодинного витримування в безаераційних умовах вторинного відстійника переміщують у забруднену стічну воду на початок цього аеротенка. І цей біоценоз потрапляє у шкідливу або й токсичну для переважної більшості гідробіонтів активного мулу рідину, що аж ніяк не сприяє нормальній їхній життєдіяльності, а отже, й очищенню води. Тому виникає парадокс: що краще, до більш високих кондицій очистять гідробіонти активного мулу стічну воду, то в гіршу ситуацію вони потраплять, коли їх перенесуть з цієї чистої води у початкову стічну воду. Багато гідробіонтів загине, а інші довго адаптуватимуться до цих складних і несприятливих умов існування. Тому в аеротенку відбувається своєрідне саморегулювання поганого очищення.

У стічні води часто потрапляють токсичні синтетичні речовини — ксенобіотики, яких раніше просто не було в природі, синтетичні поверхнево-активні речовини (СПАР), штучні барвники, йони важких металів, зокрема хромати, різноманітні органічні розчинники, а також нафтопродукти, стічні води з підвищеним вмістом солей тощо. Залпове скидання таких речовин призводить до розпадання флокул активного мулу, його спучування і відповідно масового винесення з вторинних відстійників іноді з такою інтенсивністю і в такій кількості, що щезає можливість забезпечення споруди зворотним мулом. Аеротенк перестає функціонувати як біологічна очисна споруда і перетворюється на звичайний транзитний канал стічних вод. Для відновлення роботи аеротенка після такої аварії необхідно заво­зити з інших очисних споруд значну кількість активного мулу як посівного матеріалу, поступово нарощувати біомасу активного мулу, адаптувати його до даних стічних вод, що іноді вимагає 2—3 місяці часу.

**5. Використання анаеробних бактерій для очищення стічних вод і стабілізації осадів**

Анаеробні бактерії відіграють велику роль в очищенні води. Вони живуть упродовж усіх етапів формування, транспортування й очищення стічних вод. Нестерпний запах побутових стоків, що надходять до очисних споруд, — це результат життєдіяльності анаеробних бактерій. Непоодинокі смертельні випадки з персоналом, що обслуговує каналізаційні колектори, трапляються від задухи внаслідок перебігу анаеробних процесів, які відбуваються всюди, де є поживні речовини і нестача кисню. Анаеробні бактерії виявлено навіть у місцях з інтенсивною аерацією — у флокулах активного мулу, в нижніх шарах біоплівки. Там, де така аерація відсутня, наприклад, у відстійниках, особливо первинних, анаеробні процеси можна виявити за запахом, а також за виділенням газів на поверхні води.

Анаеробні процеси використовуються для очищення води з кінця минулого століття у відкритих глибоких ємностях — септиках, де відбуваються як звичайне механічне відстоювання завислих домішок стічних вод, так і їх біологічне анаеробне зброджування.

Особливого поширення набули процеси метанового зброджування осадів, у тім числі й надлишкового мулу, в спеціальних закритих герметичних залізобетонних спорудах — метантенках. У метантенках відбуваються надзвичайно складні, досі ще остаточно не вивчені процеси перетворення різноманітних органічних речовин на кінцеві продукти метаболізму анаеробних бактерій: метан, вуглекислий газ, водень, аміак, сірководень. Анаеробні процеси зброджування проводять у мезофільному (30—35°С) або термофільному (50—55°С) режимі, а горючі гази, що утворюються (метан, водень), використовують як енергоносії. Процеси розкладання мулу в метантенках тривають 10—30 діб і потребують ретельного інженерного забезпечення.

Внаслідок зброджування надлишкового активного мулу гідробіонти упродовж тривалого часу автолізуються, гідролізують усі складні високомолекулярні сполуки (білки, ліпіди, поліцукриди, нуклеїнові кислоти тощо), з яких складається їхнє тіло, до простих речовин (амінокислот, вуглеводів, низькомоле­кулярних кислот та ін ), які можуть засвоювати анаеробні бактерії.

Вочевидь, застосування аеробних гідробіоценозів — біоплівки та активного мулу — вже на самому початку процесу очищення води і розв'язання створюваної проблеми надлишкової біомаси — не найкращий шлях в охороні водного басейну від антропогенного хімічного та біологічного забруднення Тому під час очищення деяких висококонцентрованих (понад 1000 мг 02/л за БСК) стічних вод, зокрема харчової промисловості (спиртових, крохмале-патокових та інших заводів), свиноферм, птахофабрик, почали використовувати анаеробні мікроорганізми При цьому різко зменшились експлуатаційні затрати на процес очищення стічних вод, з'явилась можливість одержання горючого біогазу, кормових концентратів, що містять вітамін В12, органо-мінеральних добрив Однак великого поширення анаеробні процеси не знайшли через багато об'єктивних і суб'єктивних причин Основні з них полягають у виділенні під час очищення стічних вод вибухонебезпечних і отруйних газів (метану, гідрогенсульфуру), у потребі висококваліфікованого обслуговування анаеробного процесу, певної його нестійкості до залпових скидань токсичних речовин, значної тривалості перебування стічних вод в очисній споруді.

Ситуація дещо поліпшилась із застосуванням іммобілізованих, закріплених на різних субстратах (носіях) анаеробних мікроорганізмів, а також з усвідомленням того факту, що деякі промислові стічні води, зокрема хімічних, фармацевтичних, газопереробних підприємств, не можуть бути очищені за аеробних умов і на початкових стадіях процесу очищення потребують участі анаеробних мікроорганізмів.

У 70-х роках XX ст. голландський вчений Леттінга помітив, що за певних умов анаеробні мікроорганізми формують гранули, які не виносяться потоком рідини з біореактора, а досить швидко осідають на дно Під такий анаеробний гранульований мул Леттінга розробив спеціальний очисний апарат —з висхідним потоком стічної води. Цей висхідний потік підтримує шар гранульованого мулу у завислому стані, проходить крізь нього, забезпечуючи відмінний масообмін між забрудненнями стічних вод та мікроорганізмами, які їх споживають. Внаслідок глибокого анаеробіозу утворюється біогаз, що на 65—70 % складається з метану і може бути використаний як енергоносій.

Анаеробні процеси зброджування проводять у мезофільному (30—35°С) або термофільному (50—55°С) режимі,

Горючі гази, що утворюються (метан, водень), використовують як енергоносії. Процеси розкладання мулу в метантенках тривають 10—30 діб і потребують ретельного інженерного забезпечення.

Внаслідок зброджування надлишкового активного мулу гідробіонти упродовж тривалого часу автолізуються, гідролізують усі складні високомолекулярні сполуки (білки, ліпіди, поліцукриди, нуклеїнові кислоти тощо), з яких складається їхнє тіло, до простих речовин (амінокислот, вуглеводів, низькомоле­кулярних кислот та ін ), які можуть засвоювати анаеробні бактерії

Недоліком анаеробного мулу є його певна вразливість токсичними речовинами, що можуть потрапити у стічну воду. Для формування і нарощування біомаси анаеробного мулу потрібно в декілька разів більше часу, ніж для аеробного: залежно від типу стічних вод ця процедура триває рік і більше. Тому в разі запускання в дію нових або реконструйованих очисних споруд анаеробний гранульований мул завозять з аналогічних очисних споруд, благо, що на відміну від аеробного активного мулу він стійкіший до тривалого зберігання, не потребує аерації під час транспортування, охолодження чи будь-яких інших технічних операцій для підтримування свого активного стану.

На жаль, анаеробний мул не може очистити воду до кондицій, достатніх для скидання її у природні водні об'єкти, тому після анаеробної обробки стічну воду потрібно доочищати біологічно за аеробних умов або фізико-хімічними методами, наприклад, за допомогою мембранної технології.

**6. Окремі культури мікроорганізмів в очищенні води**

У кінці 50-х років наша співвітчизниця Н.Путиліна запропонувала використовувати для очищення промислових стічних вод, що містили фенол, крезол, роданіди, спеціально селекціоновані мікроорганізми — деструктори цих речовин. Н.Путиліна із співробітниками навіть опублікували у 1964 р. працю "Микробный метод обесфеноливания сточных вод", проте сама ідея була настільки нова­торською, що не тільки не зустріла підтримки, а й була піддана нищівній критиці з боку московських фахівців, що займалися очищенням води. Незабаром Н.Пу­тиліна померла, і про її "мікробний метод" рідко хто згадував.

Однак ситуація з очищенням стічних вод - як промислових, так і побутових (міських) за допомогою активного мулу постійно погіршувалась у зв'язку з тим, що в ці води надходило все більше і більше синтетичних речовин, зокрема синтетичних поверхнево активних речовин, розчинників, барвників, пестицидів та інших сполук, які дістали назву "ксенобіотики", що в перекладі з грецької означає "чужі життю". Шкідливо впливають на гідробіонтів активного мулу також йони важких металів, що їх щедро спускають у каналізацію машинобудівні заводи, підприємства електронної, поліграфічної та інших галузей промисловості. Почастішали випадки спучення та винесення з аеротенків активного мулу, погіршилась якість біологічно очищеної води, в той час як згыдно з вимогами "Санітарних норм і правил" напроти багатьох з цих речовин (хлорорганічних, нітросполук тощо) зазначено: БСК=0. Вважається, що не тільки активний мул, а й взагалі будь-які організми не здатні деструктурувати (мінералізувати) цілу низку синтетичних органічних сполук. Яскравим прикладом і доведенням цього твердження стала доля в біосфері пестициду ДДТ (4,4'-дихлордифеніл-трихлорметилметану), який не розкладається в природі, розноситься по світу, нагромаджується в жирових тканинах усіх тварин аж до пінгвінів Антарктиди, тому його застосування на основі вищесказаного в цивілізованих країнах було заборонено.

В американських наукових журналах друкувалися цілі списки хімічних речовин, що не розкладаються біологічно, куди потрапили практично всі хлорорганічні речовини, багато нітросполук, гетероциклічних синтетичних речовин тощо. Ці списки стали великим стимулом для вчених, особливо мікробіологів, які шукали і знаходили мікроорганізми, здатні за відповідних умов не тільки деструктурувати  — згадані вище речовини, а й використовували їх як єдине джерело вуглецю та енергії. Виявлено мікроорганізми, що розкладають ДДТ, інші хлорорганічні пестициди і навіть діоксин.

Стало цілком очевидним, що за допомогою спеціально підібраних селекціо­нованих мікроорганізмів можна очищати будь-яку стічну воду, забруднену розчиненими в ній навіть синтетичними сполуками, а не тільки фенолами, що дуже часто трапляються в природі.

Однак промислове застосування окремі види бактерій знайшли в очищенні стічних і природних вод від неорганічних речовин, а саме від амонійного азоту, нітратів, іонів важких металів.

Для очищення води від іонів амонію їх спочатку переводять у нітрати біологічним методом. Цей процес називають нітрифікацією. Відбувається він у дві фази за участю двох груп бактерій: одна з них окислює амоній до нітритної кислоти, а друга — нітритну кислоту окислює до нітратної. Нітрифікатори — аероби, автотрофи, які для росту і розмноження потребують кисню (аерації) і не потребують органіч­ного джерела вуглецю, а використовують оксид карбону (IV).

У процесі нітрифікації можуть брати участь і деякі гетеротрофні мікроор­ганізми та деякі гриби.

Утворені нітрати, в свою чергу, внаслідок прямої біологічної денітрифікації відновлюються або до аміаку, який є джерелом азоту для побудови складних клітинних речовин під час нарощування біомаси, або до молекулярного азоту, що виділяється з води у повітря. Перший процес називають асиміляторною денітрифікацією, його перебіг забезпечують специфічні факультативно-анаеробні бактерії. Денітрифікуючі бактерії використовують нітрати як акцептори електронів під час окислення органічних речовин за відсутності кисню. У разі такого анаеробного дихання органічні забруднення води повністю окислюються до С02 і Н20. Цей процес варто використовувати на практиці як на початкових стадіях очищення води, так і для її глибокого біологічного доочищення.

Під час очищення гальванічних та інших промислових стічних вод від іонів важких металів все ширше застосовується бактеріальна сульфатредукція. За анаеробних умов деякі бактерії використовують сульфати як окисники ор­ганічних сполук, що теж забруднюють воду. Внаслідок перебігу цього біологічного процесу утворюється гідрогенсульфур, який вступає в хімічну реакцію з йонами важких металів, перетворюючи їх на практично не розчинні у воді сульфіди. Останні відокремлюють звичайним відстоюванням води.

Дуже перспективним виявився відкритий нещодавно процес біологічного відновлення шестивалентного хрому до тривалентного за безкисневих, анае­робних умов. У цьому разі хромати перетворюються на гідроксид хрому (III) (Сг(ОН)3) — практично не розчинний у воді продукт, який легко відок­ремлюється від води у відстійниках. Відновлювати шестивалентний хром можуть різноманітні бактерії, здатні інтенсивно знижувати окисно-відновний потенціал (ОВП) стічної води.

Процеси біологічного (бактеріального) очищення води від фізіологічне та екологічно небезпечних іонів амонію, нітратів, іонів важких металів, у тому числі й шестивалентного хрому, непорівнювано простіші, дешевші, екологічніші за аналогічні фізико-хімічні процеси. Мікробні сульфат- і хроматредукція не потребують жодних реагентів, відбуваються без енергетичних експлуатаційних затрат, внаслідок їхнього перебігу утворюються компактні осади не розчинних у воді сполук важких металів, а тому мають велику перспективу.

Щоправда, використання окремих штамів бактерій для очищення води вимагає певних зусиль та дій для забезпечення утримування їх в очисних спорудах, недопущення вимивання очищуваною стічною водою. Для цього треба або змусити їх сполучатися в конгломерати, аналогічні "пластівцям" аеробного активного мулу чи гранулам анаеробного мулу (це поки що не вдається здійснити), або іммобілізувати ці бактерії на якихось не розчинних у воді субстратах (насадках). Найприйнятнішим типом іммобілізації  мікроорганізмів з-поміж чотирьох відомих нині (адгезія, хімічне зв'язування, механічне утри­мування  в  полімерах, зокрема в гелях, електроутримування) виявилась звичайна природна властивість мікроорганізмів "приклеюватись" до твердої поверхні різних субстратів після адгезії. Запропоновано дуже багато різнома­нітних насадок, які можна розділити на дві категорії: 1) регулярні насадки — ті , що монтуються (пластини, тканини, полотна, волокнисті "йоржі", "вії" та ін.); 2) нерегулярні насадки — ті, що рухаються в очищуваній рідині (пісок, активо­ване вугілля, найрізноманітніші за формою та величиною пластмасові вироби). Кожна з цих насадок має свої достоїнства і недоліки, і тільки конкретні обставини та авторські уподобання визначають тип насадки, що використо­вується для іммобілізації мікроорганізмів в очищенні води.

**7.  Гідробіонти, що забезпечують очищення води**

Активний мул є автофлокульованою біомасою бактерій, актиноміцетів, гри­бів і найпростіших, у якій домінують капсульні, грамнегативні, паличковидні, монотрихіальні бактерії.

Широко представлені в активному мулі найпростіші — джгутикові, саркодові,  війчасті, сисні, інфузорії.

Найпростіших, нематод, коловерток, ракоподібних та інших безхребетних тварин традиційно розглядають як "супутні організми", які в кращому разі "є показниками доброї роботи очисної системи"

Склад активного мулу значно коливається залежно від природи стічних вод, навантаження на мул, аерації, інших технологічних параметрів Оскільки склад стічних вод безперервно змінюється, то й склад мулу постійно зазнає змін, навіть у певному місці одного й того самого аеротенка. В аеротенку-витискувачі, що стабільно працює й добре чистить воду, активні мули, які в ньому містяться на початку і в кінці, дуже різні, і важко повірити в те, що це біоценози однієї споруди. Зрештою, нічого дивного в цьому немає, адже вода після очищення активним мулом теж мало подібна до стічної води, яка надходить на очищення

Біоплівка біофільтра, що працює нормально, ще строкатіша, ніж активний мул. Крім усіх тих мікроорганізмів, що населяють активний мул, у ній трапляються водорості, різні черви й навіть личинки мух.

Анаеробний мул, що міститься в метантенках, переважно складається з бактерій, які поділяють на три великі фізіологічні групи: гідролітичні, кислото-утворювальні та власне метаногенні.

Гідролітичні бактерії здатні розщеплювати складні полімерні молекули білків, вуглеводів, нуклеїнових кислот, ліпідів на відповідні мономери.

Кислотоутворювальні (гетероацетогенні) бактерії трансформують жирні кислоти, деякі спирти та ароматичні сполуки в ацетатну кислоту.

Метаногенні бактерії перетворюють ацетатну кислоту на метан та оксид карбону (IV), синтезують метан із водню та оксиду карбону (IV) .

Великі методичні труднощі у виділенні чистих культур облігатних анаеробних бактерій, культивуванні їх, вивченні, визначенні, надзвичайно складні взаємовідносини — синергізм, антагонізм, інгібування продуктами метаболізму та речовинами органічної й неорганічної природи, що містяться у стічних водах, — усе це не дає змоги остаточно з'ясувати складний механізм процесу анаеробного очищення води.

**8. Аналіз основних проблем біологічного очищення води**

Біологічним очищенням побутових, міських і промислових стічних вод займалися здебільшого інженери-будівельники, і слід віддати їм належне, у своїй інженерній, технічній царині вони досягли великих успіхів. Біологи, в свою чергу, намагалися розібратися у надзвичайно складних біоценозах активного мулу, біоплівки, анаеробного мулу, розділити їх на компоненти, виділити в чистому стані й вивчити окремих представників цих біоценозів. Однак досі значного впливу на технологію біологічного очищення води біологи, судячи з усього, не чинили. Саме тому в ній, у цій традиційній біотехнології, є, з погляду біології, слабкі місця та прорахунки, які не дають змоги досягти високого ступеня очищення стічних вод. Так, не можна ні пояснити, ні виправдати з погляду біології факт перенесення активного мулу з очищеної води (із вторинних відстійників) на початок — у забруднену стічну воду.

Важко погодитись і з застосуванням анаеробних процесів у дуже невідповідний момент — під кінець очищення (замість його початку) і для такого важко-здійснюваного процесу, як зброджування біологічних осадів, замість того, щоб застосувати анаеробні процеси для деструкції розчинених у воді органічних забруднень і переведення в нерозчинний стан важких металів.

Усе це призводить до утворення значної кількості відходів, зокрема надлишкового активного мулу, збродженого осаду. Традиційна біотехнологія потребує великих енергетичних затрат  на аерацію, перекачування води, мулу, обробку осадів, а наслідком є низька ефективність очищення як від органічних речовин, так і від важких металів, вірусів, бактерій.

З поданого вище опису найпоширеніших методів біологічного очищення води та очисних споруд можна зробити висновок, що в цій галузі є чотири основні проблеми. Дві з них — первинні — пов'язані безпосередньо з очищенням води, по-перше, від розчинених у ній органічних речовин, іонів важких металів і, по-друге, від істот, які очищали воду від розчинених речовин. Дві інші проблеми є похідними від зазначених і стосуються забруднення ґрунту осадами, що утворюються під час очищення води, та забруднення повітря леткими токсичними речовинами й аерозолями організмів, які очищають воду.

**9. Порівняння самоочищення води в природі з індустріальними методами очищення**

Розглянемо, як справляється з проблемою очищення води природа, й зіставимо з тим, як відбувається очищення в системах, створених людиною.

Спочатку зазначимо деякі важливі для даного випадку особливості жит­тєвих процесів, що відбуваються в біосфері, зокрема в гідросфері. Усі біологічні вияви — продукування, трансформація і деструкція органічних речовин — у біосфері розосереджені, повсюдні і тісно взаємозв'язані: там, де завдяки сприятливим умовам навколишнього середовища, наприклад, у джунглях, відбу­ваються інтенсивні процеси продукування, так само інтенсивно відбуваються процеси трансформації і деструкції органічної речовини.

Далі, фізико-хімічні умови — вміст кисню, рН, окисно-відновний потенціал, наявність поживних речовин, інгібіторів, стимуляторів росту, температура, освітленість тощо — навіть у дуже обмеженому просторі істотно відрізняються, що дає змогу існувати в такому просторі різноманітним організмам.

Переважна більшість організмів веде осілий спосіб життя, недалеко віддаляється від свого "дому", а багато які з них, особливо деструктори, цілком іммобілізовані на поверхні мінералів, донних осадів, на рослинних і тваринних рештках. Цікаво, що розчинені органічні речовини — великий дефіцит у будь-якій природній воді чи то підземного, чи поверхневого джерела: концентрація їх у воді не перевищує декількох міліграмів на літр. Органічні речовини з'являються у воді як продукти метаболізму різних організмів і в результаті розкладання трупів тварин, решток рослин. В усіх випадках їх миттєво використовують всюдисущі мікроорганізми як джерело живлення та енергії.

Слід звернути особливу увагу ще на одну, можливо найголовнішу, особливість усього живого на Землі, що не тільки лімітує надходження в біосферу органічних речовин у високих концентраціях, а й є чи не основною причиною різноманіття організмів у Природі: йдеться про один із найважливіших законів розвитку життя, який можна сформулювати так: кожен організм своїми виділеннями погіршує (і, врешті-решт, робить нестерпними) умови власного існування, зате забезпечує можливість для існування й розвитку інших організмів. Це дуже мудрий і правильний, як і все в Природі, закон, бо якби знайшовся в біосфері хоча б один — чи то найвеличніший, чи то найнікчемніший — організм, здатний у результаті своєї життєдіяльності поліпшувати умови власного існування, то з часом він витіснив би, пригнітив, знищив усі інші організми.

І нарешті, кожен організм є поживою для іншого, певною ланкою (кільцем) у трофічному ланцюгу, вузлом у розгалуженій мережі трофічних зв'язків у Природі.

Вернімося тепер до порівнювання процесів самоочищення води в біосфері та біологічного очищення води в системах, які створила людина.

Почнемо з четвертої проблеми — забруднення атмосфери леткими токсичними речовинами та біологічними аерозолями. Такої проблеми в біосфері практично не існує, бо інтенсивної (типу барботажної, як в аеротенках) аерації води в природі нема: тут вода у вигляді дощу проходить крізь повітря, а не повітря крізь воду; насичення води відкритих водойм киснем постійно відбувається через поверхню поділу повітря — вода, і концентрації кисню, що розчиняється (близько 10 мг/дм3), досить для забезпечення окислення тієї невеликої кількості розчинених органічних сполук, що містяться в природних водах. Отже, щоб надійно очистити воду, не забруднюючи біосферу, треба:

· по-перше, домагатися, щоб у стічні води потрапляло якомога менше за­бруднень, адже переважна більшість із них — це та сама сировина, проміжні або кінцеві продукти виробництва; виконання цієї умови пов'язане з удосконаленням технології, безумовним дотриманням високої технологічної дисципліни;

· по-друге, розвивати й удосконалювати такі процеси очищення води, як біофільтрування, анаеробна обробка, інтенсифікувати природне очищення води у водоймах, водотоках.

Третя і друга проблеми — біологічних осадів, що забруднюють ґрунт, і очищення води від істот, які очищали воду від розчинених речовин, розв'язуються в біосфері так: по-перше, виїданням у трофічних ланцюгах та мережах гідро­біонтів і, по-друге, осадженням у гравітаційному полі Землі з наступним перетворенням на дуже цінні як біодобрива сапропелі, а також на корисні копалини.

***Запитання для контролю***

1.                Загальноісторичні аспекти біологічного очищення води.

2.                Біоценози в очищенні стічних вод.

3.                Технологічна схема механо-біолого-хімічного очищення стічних вод.

4.                Очищення стічних води за допомогою біоплівки.

5.                Очищення стічних води за допомогою біоплато.

6.                Очищення стічних вод з використанням мочар і обертових біоконтакторів.

7.                Активний мул в очищенні стічних вод.

8.                Конструкції, види та робота аеротенків.

9.                Використання анаеробних бактерій для очищення стічних вод.

10.           Окремі культури мікроорганізмів в очищенні води.

11.           Гідробіонти, що забезпечують очищення води.

12.           Аналіз основних проблем біологічного очищення води.

13.           Порівняння самоочищення води в природі з індустріальними методами очищення.

Корисні посилання:  
https://aquacycl.com/blog/13-new-technologies-that-are-changing-the-wastewater-treatment-landscape/