

Б.Р.Шабас

Луцький національний технічний університет

## ДОСЛІДЖЕННЯ ОСНОВНИХ ТЕНДЕНЦІЙ ОЧИСТКИ ВОДИ

*Аналізується світовий досвід оздоровлення водних ресурсів за допомогою біологічних методів, описано відповідні механізми та їх класифікацію. Розглянуто основні методи фітотехнології. Розглянуто біоконвеєр як найефективнішу "Живу Мащину" для очистки води.*

Ключові слова: *біотехнологія, фітотехнологія.*

Сьогодні людина та результати її діяльності перевершили всі біологічні чинники. Швидкий ріст населення планети в поєднанні зі зростаючим обсягом водоспоживання для побутових і промислових потреб та інтенсивним сільським господарством призводить до глобальної водної кризи, яка проявляється в нестачі прісної води й у її забрудненні, що посилюється.

Системи прісної води в усьому світі зараз настільки сильно деградують, втрачаючи можливість постачати воду людям, тваринам і рослинному світу, що якщо така тенденція збережеться й надалі, це може призвести до різкого скорочення населення планети й вимиранню великої кількості видів тварин. Ситуація складається загрозна, оскільки людство споживає більше прісної води, ніж Земля може дати. Споживання прісної води в світі в 2,5 рази випереджає ріст чисельності населення. Зараз люди використовують 54% доступної прісної води, причому дві третини йде на потреби сільського господарства. За прогнозами фахівців, до 2025 року споживання води зросте до 75% від нинішнього рівня тільки за рахунок збільшення населення. Уже зараз більше мільярда земель не мають доступу до чистої води. Передбачається, що до 2025 року щонайменше 3,5 мільярди людей — приблизно половина населення земної кулі — будуть відчувати нестачу питної води. Проблема ще й у тому, що в країнах, які розвиваються, 95% каналізаційних стоків і 70% промислових відходів скидаються у водойми без очищення.

Враховуючи те, що в 2008 — 2015 рр. глобальна зміна клімату на Землі збільшить ризик техногенних і екологічних катастроф з незворотними наслідками, що приведе до зміни гідробіологічного і сольового складу поверхневих водних ресурсів, жителі Землі відчують гострий брак питної води. За даними ВООЗ вже зараз до 80% всіх захворювань пов'язані з якістю води. У водоймах навколо міст, звідки йде водопостачання, у середньому виявляють 2000 патогенних речовин і мікроорганізмів.

Питне водопостачання України майже на 75 відсотків забезпечується за рахунок поверхневих вод. Якість води у поверхневих водних об'єктах є вирішальним чинником санітарного та епідемічного благополуччя населення.

Забруднення водних об'єктів — джерел питного водопостачання за недостатньої ефективності роботи водопровідних очисних споруд тягне за собою погіршення якості питної води та створює серйозну небезпеку для здоров'я населення в багатьох регіонах України. Відставання України від розвинутих країн по середній тривалості життя та висока смертність певною мірою пов'язано із споживанням недоброякісної питної води.

Існуючі технології водоочищення, впроваджені на вітчизняних спорудах обробки води, є застарілими та характеризуються низькою ефективністю роботи. Неабияку роль у формуванні катастрофічного стану наших водойм відіграє низька екологічна культура суспільства та широко розповсюджене явище корупції.

Четверта частина очисних споруд водопровідної мережі, кожна п'ята насосна станція та половина насосних агрегатів відпрацювали нормативний термін експлуатації, що призводить до підвищених витрат електричної енергії та збільшення собівартості перекачування стоків. В аварійному стані перебуває 13,85 тис. кілометрів каналізаційних мереж, або більше 30 відсотків їх загальної довжини, витоки з яких крім вторинного забруднення питної води обумовлюють підтоплення території населених пунктів в окремих регіонах.

Однією з екологічних проблем Волинської області є стан питних вод. Саме цей фактор серйозно впливає на здоров'я населення області, зокрема, на сольовий баланс системи травлення, появу злоякісних пухлин, порушення діяльності кровотворної, сечостатевої й інших систем організму людини, обумовлює високий рівень захворюваності кишковими інфекціями, гепатитом, збільшує ризик впливу на організм людини канцерогенних і мутагенних факторів.

Проблема забезпечення належної кількості та якості води є однією з найбільш важливих і має глобальне значення.

Найбільш раціональним, ефективним і завдає найменше шкоди навколишньому середовищу — використання біологічних методів очистки води. Ідеальним біоочисником можна було б уявити біоценоз організмів. Причому у такий ценоз мають бути включені усі можливі ланки — від мікроорганізмів до гідробіонтів із більш складною організацією. Тільки таким чином можливе відтворення процесів самоочищення природних водойм та надання обробленим стічним водам вищих кондицій якості. Біологічне 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. Вони мінералізують розчинені органічні сполуки які і є для них джерелами живлення, при використанні яких вони отримують все необхідне для життя — енергію і матеріал для конструктивного обміну.

Біотехнологічний процес очищення води складається з кількох етапів:

1. початкова обробка: фільтрація і відстоювання, попередня аерація;
2. біотрансформація (ферментація): ріст гідробіонтів у біореакторі або біоплато із засвоєнням та накопиченням у біомасі біогенних елементів, токсикантів, мінералізацією органічних речовин;
3. кінцева обробка: видалення відпрацьованої біомаси гідробіонтів, які залучені до процесу очищення, з подальшим захороненням (для токсичних сполук) або використанням у сільському господарстві (корм для свійських тварин, органічне добриво).

Процеси біологічного доочищення стічних вод, або відновлення якості води антропогенно трансформованих природних водних об'єктів можна умовно розділити на два типи: екстенсивні і інтенсивні.

Екстенсивний процес — це природне самоочищення. Він включає в себе створення біоствів (біоплато, ботанічних майданчиків, ветлендів) і потребує додаткових земельних площ. Сам процес залишається мало керованим.

Інтенсивний процес — це керований процес при якому виключена залежність результатів очищення води від абіотичних умов (температури води і повітря, освітлення). Інтенсифікація передбачає оптимальне концентрування біомаси очисних організмів на одиницю площі або об'єму та створення для них необхідних умов (оптимальної температури, кисневого режиму, проточності, видалення надлишкової біомаси) для досягнення найкращих показників якості очищеної води.

Інтенсифікація передбачає впровадження ряду заходів:

- еколого-біологічні: правильний підбір видів для створення стійкої екосистеми з урахуванням міжвидових відносин у штучному угрупованні, забезпечення адаптації культур організмів до умов концентрованих стоків з метою зменшення і уникнення стресу (селекція і штучний відбір у культивованих популяціях);

- технічні: створення закритих систем; забезпечення додаткового освітлення і аерації; розмежування у просторі певних процесів формування каскаду водойм; періодичне осушення водойм для видалення решток та аерації ґрунту ложа; автоматизацію процесів розділення і очищення; диференціацію екологічних ніш шляхом конструктивних змін поверхні дна, використання різноманітних інертних субстратів та носіїв;

- господарсько-економічні: переробка нетоксичних компонентів (розчинених та нерозчинених органічних і мінеральних речовин) з метою отримання корисної продукції (корм для риб та інших сільськогосподарських тварин, органічні добрива).

За розташуванням у просторі біореакторів системи є відкриті і закриті.

Відкриті системи, побудовані на основі природних водойм (стави, лагуни) і найпростіших обвалувань. Аерація та перемішування води може здійснюватись широким спектром технічних пристроїв (імпелери, лопатеві та пневматичні аератори). Проте, можливості регулювання і оптимізації інших параметрів середовища (особливо освітленості і температури води) значно обмежені. Недостатня освітленість вже на глибині 20-25 см обмежує розвиток фототрофних організмів. До недоліків відкритих систем можна віднести забруднення повітря леткими речовинами, фільтрація токсикантів у підземні води і випаровування води. Необхідні значні площі земель, які біля міст і інших населених пунктів мають високу вартість.

Закриті системи забезпечують контроль і регуляцію більшості параметрів, ефективно використання площ (можливість утворення вертикальних каскадів). Закриті системи дають

можливість цілорічно вирощувати тропічні види, які не мають сезонних явищ росту та розмноження.

Для знешкодження отруйних органічних речовин, що потрапляють в навколишнє середовище вже давно та успішно використовують різні мікроорганізми. Проте вони не здатні видаляти з ґрунту і води шкідливі для здоров'я важкі метали та радіоактивні ізотопи. Тому, разом із мікроорганізмами, доцільно використовувати рослини, які можуть видаляти багато класів забруднюючих речовин включаючи вуглеводні, хлорорганічні сполуки, пестициди, метали, радіонукліди та біогенні речовини.

Водні рослини в водоймах виконують наступні основні функції:

- фільтраційну — сприяють осіданню завислих речовин;
- поглинальну — поглинають біогенні елементи і деякі органічні речовини;
- накопичувальну — здатні нагромаджувати деякі метали і важко розкладаючі органічні речовини;

- окислювальну — в процесі фотосинтезу збагачують воду киснем;

- детоксикаційну — накопичують токсичні речовини і перетворюють їх в нетоксичні.

Види рослин обираються залежно від їхньої здатності всмоктувати воду, кількості вироблюваних ними корисних ферментів, рівнем росту, глибиною кореневої системи та здатності акумулювати шкідливі речовини.

Для визначення однотипних технологічних рішень, що ґрунтуються на принципі використання вищої водної рослинності ЮНЕП було запропоновано й обґрунтовано термін "фітотехнології". Під фітотехнологіями, розуміють комплекс методик, що використовуються для видалення, деструкції або зв'язування шкідливих хімічних речовин, які містяться у ґрунті, осадах, підземних та поверхневих водах та навіть у атмосфері. Найпоширенішими методами "фітотехнології" є ризофільтрація, ризодеградація, фітодеградація та фітоекстракція.

Ризофільтрація — це адсорбція чи осадження на поверхні коріння, або абсорбція до корневих тканин хімічних забруднюючих речовин, що знаходяться у середовищі, яке оточує кореневу систему рослини, завдяки біотичним та/або абіотичним процесам. Головним результатом цього механізму є вилучення та акумуляція шкідливої речовини у тканині або на поверхні коренів, що в подальшому має бути видалена з ділянки через фізичне видалення рослини.

Перевагами механізму є:

- можна використовувати як наземну так і водну рослинність. Хоча наземна рослинність потребує спорудження додаткових плаваючих платформ, вона видаляє більше забруднюючих речовин, ніж водна;

- ефективне використання як у лабораторних, так і в натурних умовах;

- місце розташування фільтруючої системи не має принципового значення.

Ризодеградація — це руйнування органічних забруднюючих речовин у ґрунті, ґрунтових або поверхневих водах з використанням спеціальних наплавних систем, завдяки мікробіологічній активності, що збільшується внаслідок наявності кореневої системи. Виділення кореневої системи (амінокислоти, органічні кислоти, жирні кислоти, ферменти) є поживним середовищем для мікроорганізмів.

Переваги механізму ризодеградації:

- акумуляція та вивільнення у повітря хімікатів набагато менша, ніж в інших типах фітотехнологій, оскільки руйнування токсичної речовини відбувається безпосередньо у забрудненому середовищі;

- може відбуватися додаткова мінералізація ґрунту;

- низькі капітальні та поточні витрати.

Фітодеградація (фітотрансформація) — це метод руйнування забруднюючих речовин, поглинутих рослинами, завдяки метаболічним процесам.

Фітоекстракція — це поглинання забруднених речовин кореневою системою рослин, їх перенесення та акумуляція у пагонах. Ця технологія потребує набагато менших витрат, ніж будь-яка інша, та в умовах України є найбільш прийнятною. Цей метод більше за всі інші потребує втручання людини, оскільки через деякий час (залежно від використовуваної рослинності, типу забруднення, характеристик середовища та кліматичних показників) рослини мають бути видалені та відправлені на переробку. Серед недоліків застосування фітоекстракції зазвичай зазначають повільний ріст та неглибоку кореневу систему більшої частини рослин. Максимальною глибиною

для використання цього методу є глибина 9 м, а для ефективного видалення забруднюючих речовин — 0,3–1,2 м.

Забруднюючі речовини, що піддаються видаленню такими методами: метали – Ag, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Mn, Mo, Ni, Pb, Zn, Pb, Fe, As, Se; радіонукліди –  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{239}\text{Pu}$ ,  $^{238}\text{U}$ ,  $^{236}\text{U}$ ,  $^{234}\text{U}$ ; неметали – В. Запропоновані методи дозволяють відмовитися від використання сорбційних методів очистки.

Найбільшими "очисниками" виявилися деякі сорти соняшнику, кукурудзи, амброзія, індійська гірчиця, комиш, очерет озерний, рогіз вузьколистий і широколистий, рдест гребінчастий і курчавий, спіродела багатокорінева, елодея, водний гіацинт(ейхорнія), касатік жовтий, сусак, стрілолист звичайний, гречиха земноводна, резуха морська, уруть, хара, ірис. Вид рослин вибирають в залежності від природи забруднень.

Індійська гірчиця виявилася дуже ефективним накопичувачем свинцю (200 міліграм/кг), міді і нікелю. Свинець здатні накопичувати також кукурудза і відомий бур'ян амброзія.

Можливість очищення ґрунту і води від радіонуклідів за допомогою соняшника було успішно продемонстровано на Україні поблизу четвертого реактора Чорнобильської АЕС. Концентрація урану в рослинах в тридцять тисяч разів перевищувала його концентрацію в ґрунті і воді, а для цезію-137 і стронцію-90 ця величина склала вісім і дві тисячі разів відповідно.

Комиш, очерет, рогіз володіють здатністю видаляти з води забруднюючі речовини: біогенні елементи (азот, фосфор, калій, кальцій, магній, марганець, сірку), важкі метали (кадмій, мідь, свинець, цинк), феноли, сульфати, нафтопродукти, синтетичні поверхневоактивні речовини (СПАР), і поліпшити такі показники органічного забруднення середовища, як біологічне споживання кисню (БСК) і хімічне споживання кисню (ХСК).

Рослини накопичують в сотні і тисячі разів більше біогенних речовин в порівнянні з їх вмістом в навколишньому середовищі. 1 га хащ очерету може акумулювати в своїй біомасі до 6 т різних мінеральних речовин, зокрема калію - 860 кг, азоту - 170 кг, фосфору - 120 кг, натрію - 450 кг, сірки - 280 кг, кремнію -3700 кг. Очерет і комиш прискорюють бактерійне розкладання (за допомогою нафтоокислюючих і сапрофітних бактерій) нафти і нафтопродуктів в 3-5 разів. Для фенольних з'єднань швидкість окислення збільшується в 2-3 раз. В процесі метаболізму вони виділяють в середовище фізіоактивні речовини типу фітонцидів і антибіотиків. Це призводить до зниження чисельності патогенної мікрофлори.

В Китаї водний гіацинт використовують для очистки стічних вод кінофабрики від срібла. Ступінь очистки від срібла, завислих речовин, сполук фосфору та азоту відповідно складав 100; 91; 53,9 і 92,9%.

Найкращою реалізацією моделі протидії впливу фактора забруднення у системі обробки води є біоконвеєр("Жива Машина"). Біоконвеєр — це пристрій, який передбачає залучення до процесу очищення води широкого кола гідробіонтів, починаючи зі спеціально селекціонованих мікроорганізмів – деструкторів, водоростей, грибів, найпростіших і закінчуючи вищими водними організмами аж до риб та водних рослин. Цей метод передбачає утворення просторової сукцесії організмів, яка формується у процесі очищення води і передбачає вільне переміщення рухомих організмів до оптимальних умов. Кожен організм у біоконвейері має певну реакцію на екологічні умови, які складаються в очисній споруді. Згідно принципу екологічної толерантності ця реакція описується кривою нормального розподілу, у якій є критичні точки, зона песимуму, комфорту і оптимуму.

Розроблена система є штучно створеною екосистемою, головне завдання якої — очищати забруднену воду (рис. 1).



Рис. 1. Схема роботи "Живої машини"

По спеціальних маршрутах вода проходить серію басейнів, населених водними і болотяними рослинами, бактеріями, водоростями, простими живими організмами, планктоном, равликами, молюсками, рибою та іншими тваринами. На кожному етапі жителі маленького світу забирають ті чи інші забруднюючі речовини, насичують воду киснем, знезаражують і позбавляють її від патогенних мікроорганізмів.

Спочатку вода проходить через відстійний бак в який не поступає повітря. У нім осідають всі важкі домішки. Тут мешкають анаеробні бактерії, які виробляють кислоти і метан. Цей етап не потрібний, якщо вода, що поступає, не дуже каламутна.

Наступний етап: вода проходить крізь біофільтр і гумінові матеріали, де втрачає неприємні запахи. Далі частково очищена вода проходить закритий і відкритий баки, у кожному з яких вода насичується киснем. У них частина шкідливих речовин переводиться у форми, які можуть переварити рослини, що проживають в наступних баках.

Планктон харчується мікроорганізмами і поглинає зважені частинки розміром до 25 мікрометрів (молоді особини і до 1 мікрометра). Потім планктон стає їжею для риб і молюсків. Равлики очищають воду і стінки судин від слизу. Як наслідок, рослинам і організмам поступає більше світла (поліпшується фотосинтез). Молюски фільтрують близько 40 літрів води в день і при цьому поглинають близько 99,5% колоїдних речовин. Інколи на виході вода отримується чистіша, ніж та, що знаходиться в природі.

Головна перевага "Живої машини" перед класичними заводами в тому, що вони по-своєму прості і повністю дружні природі. Ніяких складних і дорогих хімічних сполук, багатоступінчатих систем фільтрів і складних у виробництві технічних споруд. Відповідно, простішим стає і догляд за системою. Саме з цієї причини "Жива машина" може очищати воду як для звичайної садової ділянки так і для зоопарку (від 9,5 до 757 тисяч літрів на день).

Звичайні очисні споруди в результаті своєї роботи дають деяку кількість токсичного осаду. "Жива машина" майже всі забруднювачі переводить в біомасу. Витрати на будівництво і роботу комплексу інженерних споруд значно менші, ніж на звичайних заводах.

"Жива машина" майже повністю складаються з природних складових, тоді як для створення класичних очисних заводів природні ресурси необхідно переробляти. Крім того, доведено, що на отримання тієї ж кількості чистої води витрати на електроенергію в "Живій машині" є на 10-25% нижчими в порівнянні зі звичайними заводами.

#### Висновки

Необхідно раціонально використовувати чисту воду та відділяти її від тієї, яка використовується для господарських потреб.

Досягти гарантованої якості води за мікробіологічними показниками можливо тільки в тому випадку, коли система знезараження води відповідає ряду вимог:

- Ефективність: знезараження повинно забезпечувати видалення патогенних і зниження концентрації індикаторних організмів до рівня, встановленого санітарними нормами.
- Безперервність: знезараження повинне проводитись постійно.
- Надійність: система дезінфекції повинна забезпечувати знезараження в самий несприятливий період року (при високій каламутності та кольоровості).
- Безпека для людини: у процесі знезараження не повинні утворюватися побічні продукти (токсичні для людини) у концентраціях, що перевищують відповідні ГДК.
- Екологічна безпека: продукти, що утворюються при знезараженні, не повинні здійснювати негативний вплив на навколишнє природне середовище. В протилежному випадку потрібно передбачати видалення цих продуктів.

Переваги використання біоконвеєра:

- Використання існуючих водоочисних споруд, при цьому інтенсивність процесу очищення збільшується в 1,5 раза.
- Експлуатаційні витрати вдвічі менші, ніж за традиційною біотехнологією.
- Зникає проблема залишкового мулу (що характерно для аеротенків), який містить небезпечні мікроорганізми, іони важких металів, токсичні та мутагенні сполуки.
- Зникає проблема надлишкової біомаси (відповідно, проблема ділянок для зберігання мулу, що накопичується в процесі біоочищення, та технологій для його утилізації) за рахунок споживання і мінералізації її у трофічному ланцюгу.

• Відсутність проблеми "спухання" активного мулу внаслідок появи в стічних водах стійких до біорозкладу сполук і, відповідно, виникнення проблеми відновлення якості інтенсивно забрудненої води.

• Можливість очищення будь-якої води (природної, зливової, побутової, промислової), що містить органічні та інші токсичні, канцерогенні та мутагенні відходи за будь-якої концентрації.

• Можливість доводити якість води до заданого ступеня чистоти від важких металів та радіонуклідів, нафтопродуктів, миючих засобів, органічних речовин, жирів, солей амонію тощо).

• Можливість одержання біогазу або водню з одночасним очищенням стічної води.

• Можливість переробки рідких техногенних утворень коксохімічних та інших виробництв (мертві рідкі токсичні стоки) у водоймах.

Всі ці технології, методики та процеси об'єднує те, що вони є найбільш дешевим та естетично привабливим методом звільнення ґрунтів, підземних та поверхневих вод від забруднення. В умовах сучасної економічної ситуації в Україні вони можуть допомогти у вирішенні проблеми оздоровлення довкілля. У зв'язку з цим важливим є розвиток нових ефективних методів очищення та знезараження води, що призначена для споживання людиною. Не менш важливим є забезпечення оперативного контролю якості водопостачання, визначаючи при цьому основні показники складу та властивостей питної води на шляху від джерела водопостачання до споживача.

Забруднення стічними водами водних екосистем до рівня їх деградації вимагає широкого впровадження біотехнологій відновлення якості води на очисних спорудах промислових і комунально-побутових підприємствах. Розробка і впровадження біотехнологій є багатоетапним процесом, який вимагає дослідження структурно-функціональних показників гідробіоценозів природних водойм, забруднених стічними водами; встановлення еколого-біологічних особливостей видів, які найкраще очищують воду від домішок, розробку методів їх культивування, а також досвіду спеціалістів технічного профілю для апаратного забезпечення технології.

Використання біологічних методів очистки частково вирішує проблему технічного водопостачання для поливу теплиць та присадибних ділянок. Зважаючи на особливу специфіку очистки малих кількостей стічних вод в умовах високої нерівномірності гідравлічних і органічних навантажень, змін складу і властивостей стічних вод, які надходять, стоїть задача, перш за все, на забезпечення високої якості очищеної води, безперебійної роботи установки при невеликих капіталовкладеннях і енерговитратах.

1. Голубовская, Э. К. Биологические основы очистки воды [Текст] : Учеб. пособие / Э. К. Голубовская — М. : Высшая школа, 1978.— 268 с. с ил. и табл. Библиогр. : с. 264—265 с.
2. Жуков, А. И. Методы очистки производственных сточных вод [Текст] : Справ. пособие / А. И. Жуков, И. Л. Монгайт, И. Д. Родзиллер ; под. ред. А. И. Жукова. — М. : Стройиздат, 1977.— 204 с.
3. Запольський, А. К. Водопостачання, водовідведення та якість води [Текст] : Підручник / А. К. Запольський — К. : Вища шк., 2005. — 671 с : іл.
4. Живые машины очищают воду [Електронний ресурс] / М.— Режим доступу <http://www.popularmechanics.ru/> — 29.11.09р. — Загол. з екрану.
5. About Eco-Machines [Електронний ресурс] / Woods Hole.— Режим доступу <http://toddecological.com/eco-machines/> — 15.10.09 — Загол. з екрану.
6. Roth Ecological Design International [Електронний ресурс] / Honolulu.— Режим доступу <http://www.rothecologicaldesign.com/> — 19.10.09 — Загол. з екрану.
7. Лукиных Н. А., Методы доочистки сточных вод [Текст] : учеб, пособие / Н. А. Лукиных, Б. Л. Липман, В. П. Криштул. — 2-е изд.— М. : Стройиздат, 1978 — 156 с. — (Защита окружающей среды).
8. Орловский, З. А. Очистка сточных вод за рубежом [Текст] : учеб, пособие / З. А. Орловский.— М. : Стройиздат, 1974.— 192 с.
9. Яковлев, С. В. Биохимические процессы в очистке сточных вод [Текст] : учеб, пособие / С. В. Яковлев, Т. А. Карюхина. — М. : Стройиздат, 1980. — 200 с. — (Охрана окружающей среды).