

## ВИКОРИСТАННЯ ВИЩИХ ВОДНИХ РОСЛИН В ПРАКТИЦІ ОЧИСТКИ СТИЧНИХ ВОД ТА ПОВЕРХНЕВОГО СТОКУ

Вищі водні рослини, такі як комиш, очерет, рогоз, 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).

Водні рослини в водоймах виконують наступні основні функції [1]:

- фільтраційну (сприяють осіданню завислих речовин);
- поглинальну (поглинання біогенних елементів і деяких органічних речовин);
- накопичувачу (здатність нагромаджувати деякі метали і важко розкладаючі органічні речовини);
- окислювальну (в процесі фотосинтезу вода збагачується киснем);
- детоксикаційну (рослини здатні накопичувати токсичні речовини і перетворювати їх в не токсичні).

При очистці стічних вод використовують такі види вищих водних рослин (ВВР), як комиш, очерет озерний, рогоз вузьколистий і широколистий, рдест гребінчастий і курчавий, спіродела багатокорінева, елодея, водний гіацинт (ейхорнія), касатик жовтий, сусак, стрілолист звичайний, гречиха земноводна, резуха морська, уруть, хара, ірис та інші.

Коренева система рогозу має високу акумулюючу здатність відносно важких металів. Концентрація металів у кореневій системі рогозу, який ріс на берегах шламонакопичувачів електростанцій, досягала (мг/кг): заліза – 199,1; марганцю – 159,5; міді – 3,4; цинку – 16,6 [2].

Відомо, що очерет має високі адаптивні властивості і здатний проростати в дуже забруднених промисловими стічними водами водоймах [3]. Встановлено, що очерет здатний видаляти з води такі сполуки, як феноли, нафтоли, аніліни та інші органічні речовини. Питоме поглинання мінеральних речовин досягає (г на 1 г сухої маси): кальцію – 3,95, калію – 10,3, натрію – 6,3, кремнію – 12,6, цинку – 50. марганцю – 1200, бора – 14,6 [4].

В роботі [5] було оцінено здатність трьох видів вищих водних рослин (комиш, очерет і рогоз) видаляти із забруднених вод азот і знижувати БСК. При середній концентрації амонію у стоках 24,7 мг/л, після очистки з використанням ВВР його концентрація становила (мг/л): для комишу – 1,4, для очерету – 5,3, для рогозу – 17,7. Ефективність зниження БСК також була вище у комишу і очерету.

Системи очистки шахтних вод на плантаціях очерету, комишу використовується в багатьох країнах Америки. Ведуться дослідження можливості очистки та видалення металів із води металургійної промисловості [6]. Описані споруди з очеретяною рослинністю для очистки господарсько-побутових стічних вод в Нідерландах [7],

Японії [8], Китаї [9]; для очистки забрудненого поверхневого стоку в Норвегії [10], Австралії [11] та в інших країнах. Стійкість очерету до дії великої концентрації забруднень дозволила досить успішно використовувати його для очистки стічних вод свиноводських комплексів в Великобританії [12].

В м. Бентон (США) із населенням 4700 чоловік з 1985 року здійснюється очистка побутових стічних вод у ставках з заростями очерету та інших водних рослин. Підраховано, що вартість такої системи очистки в 10 разів менша за вартість традиційних систем при задовільній якості очистки води від сполук азоту, фосфору, завислих та органічних речовин [13].

В Ірландії (місто Вільямстоун) успішно експлуатується система сумісної очистки господарськопобутових вод (72 %) і поверхневого стоку (28 %), сконструйована у вигляді трьох мілководних лагун, дві з яких засаджуються очеретом і рогозом, а третя являє собою біопруд, з плаваючими водними рослинами – лілією і ряскою. В процесі очистки вода очищається до наступних показників (мг/л): БСК – 9, завислі речовини – 9, повний азот – 14,2, аміак – 0,8, нітрати – 9,2, повний фосфор – 4,45, ортофосфати – 3,15. Середнє процентне зменшення концентрацій забруднюючих речовин в системі за дворічний період вивчення складає: 48 % для БСК, 83 % для завислих речовин, 51 % для повного азоту, і 13 % для повного фосфору, видалення патогенних організмів 99,77 % [14].

Очисні системи вторинної та третинної очистки побутових стічних вод, основані на елодеї, придатні для використання в помірному кліматі, де можуть цілий рік видаляти біогенні елементи зі стічної води [15].

За результатами промисловоекспериментальних досліджень процесу очистки побутових стічних вод з використання водного гіацинту в США [16] ступінь очистки по БСК5 досягає до 9798%. В Китаї водний гіацинт використовують для очистки стічних вод кінофабрики від срібла [17]. Встановлено, що ступень очистки від срібла, завислих речовин, сполук фосфору та азоту відповідно складав 100; 91; 53,9 і 92,9% при цьому БСК та ХСК зменшилось на 98,6 і 91%. Автори повідомляють, що запропонований метод дозволяє відмовитися від використання сорбційних методів очистки.

В Росії Інститутом цитології і генетики розроблена технологія очистки стоків з використанням водного гіацинту. Експериментальна робота була проведена для стоків свинокомплексу. Очистка здійснювалася в біопрудах. Концентрація азоту амонійного знижувалась(мг/л) з 3050 до 45, БСК5 – з 150 до 2030, ХСК – з 300 до 2530, концентрація розчиненого кисню зростала від 0,5 до 25 мг/л.

В Норвегії в 40 км на південь від Осло для очистки сільськогосподарського поверхневого стоку сконструйовано експериментальне біоплато площею 1200 м<sup>2</sup>, яке являє собою сконструйований з 8 паралельних смуг (кожна розміром 3 x 40 м) фільтр, глибиною 0,5 м (рис. 1). Площа водозбору складає 0,8 км<sup>2</sup>. Попередні дослідження показали ефективність у видаленні завислих речовин 4575 %, фосфору 2144 %, азоту –15 %. Дослідження тривають [10].



Рис. 1. Експериментальне біоплато в Норвегії

Австралійськими вченими [11] розроблено спосіб очистки поверхневого стоку від автомагістралей. Дороги не облаштовуються бордюрами, збір стоку здійснюється фільтраційними траншеями (рис. 2), заповненими на глибину 0,8 м гравієм. На дні траншеї прокладаються збірні трубопроводи діаметром 150 мм, які транспортують стік на подальшу очистку в біоплато.



Рис. 2. Біофільтраційна система в Австралії

Біоплато – це інженерна споруда, яка використовується для очистки і доочистки господарсько-побутових, виробничих стічних вод та забрудненого поверхневого стоку, яка не вимагає (або майже не вимагає) затрат електроенергії та використання хімічних реагентів при незначному експлуатаційному обслуговуванні.

В основу технології покладені природні процеси самоочищення, властиві водним та новколоводним екосистемам. Принцип технології „біоплато” полягає у використанні вищих водних рослин (ВВР). До факторів, які найбільше впливають на ефективність очистки, відносяться: температура води та повітря, рН та Eh середовища, період року, гідравлічне навантаження на споруди, аерація; початкова концентрація забруднюючих речовин води, що подається на очистку; наявність розвинених ефективних поверхонь як субстрату прикріплення для різноманітних водних організмів – бактерій, вакиномісцетів, грибів, простіших та одноклітинних водоростей, ракоподібних, червів, комах та мшанок. Помічено, що накопичування рослинами біогенних елементів стимулюється збільшенням їх концентрації в середовищі [18, 19], збільшується на світлі [20], залежить від рН води, а також від

видових особливостей рослин [18], густоти біомаси [20] та ряду інших чинників. Таким чином, найбільш важливими характеристиками штучно сформованого біоценозу макрофітів є: загальна площа акваторії, яку займають рослини, їх видовий склад та чисельність на 1 м<sup>2</sup>; час контакту потоку води з біоценозом; режим експлуатації.

Біоплато з ВВР відзначаються значною окислювальною спроможністю завдяки високій концентрації активного мулу, який перебуває в комбінованому стані. Активний мул створює плівку (перифітон) на поверхні рослин, занурених у воду, знаходячись з ними у стані симбіотичної взаємодії; перебуває у зваженому стані у вигляді пластівців, а також утворює шар природних відкладень – бентос, в якому проходить активний процес анаеробного розкладу органічних забруднень. Значну роль в процесах доочистки виконують сапрофітні бактерії та мікроскопічні водорості – планктонні організми. Вони збагачують воду киснем в результаті процесу фотосинтезу, що значною мірою компенсує штучну аерацію. Роль дезінфектантів успішно виконують ВВР за рахунок своїх продуктів обміну та кисню, який утворюється в процесі фотосинтезу, що дозволяє уникнути використання систем хлорування або озонування води [21].

В роботах [22, 23] виділяють поверхневі, інфільтраційні та наплавні конструкції біоплато. В якості поверхневого біоплато використовуються інженерні споруди або природні заболочені території з вільним рухом води через угруповання повітряноводної та укоріненої зануреної рослинності. Інфільтраційні біоплато являють собою земляні фільтруючі споруди з завантаженням зі щебеню, гравію, керамзиту, піску та інших матеріалів. Фільтрація стічної рідини може здійснюватися як у горизонтальному, так і у вертикальному напрямках. На поверхні завантаження висаджуються найбільш стійкі деревночагарникові та/або трав'яні рослини. Очистка стічних вод відбувається за рахунок життєдіяльності судинних рослин, мікрофітів, мікроорганізмів біоплівки і ризосфери, а також грибів і актиноміцетів ризосфери коренів і у шарі перегною, що поступово формується. Наплавні біоплато є по суті штучними сплавинами. На поверхні плаваючих у воді матів, які виготовляють із синтетичних волокон, висаджуються трав'яні багатолітні рослини, що утворюють розвинену кореневу систему. Наплавні біоплато добре зарекомендували себе у очистці вод від плаваючих домішок (піни, пластівців, нафтопродуктів та ін.).

Відомі штучно створені біоплато з відкритим дзеркалом води, які переважно призначені для очистки стічних вод, де в якості водних рослин використовують: ірис, рогоз, касатік, тростник, рдест, очерет озерний, стрілолист з щільністю посадки 115 рослин на 1 м<sup>2</sup>. Вид рослин вибирають в залежності від природи забруднень. Біоплато заповнюють водою до рівня від 0,3 до 1,5 м. при швидкості течії 0,0050,01 м/с [24].

Ефективність роботи біоплато дещо знижується в осінньозимовий період (згідно [22] приблизно до 70 %), але якість очистки не погіршується вище ГДК для випуску очищеної води у природні водойми [21].

В Україні Науковоінженерним центром „Потенціал4” разом з Інститутом гідробіології НАНУ запропоновані різні інженернобіологічні споруди на основі закритого біоплато гідропонного типу (ЗБГТ). ЗБГТ – водоохоронна споруда, яка поєднує основні елементи очистки з використанням іммобілізованої на інертному субстраті мікрофлори та вищих водних рослин. Особливістю ЗБГТ є регулювання якості води

за допомогою штучно утвореного гідробіоценозу, якісні та кількісні характеристики складових компонентів якого формуються під безпосередньою дією ВВР, у виконаній згідно інженерних розрахунків споруді без відкритого дзеркала води.

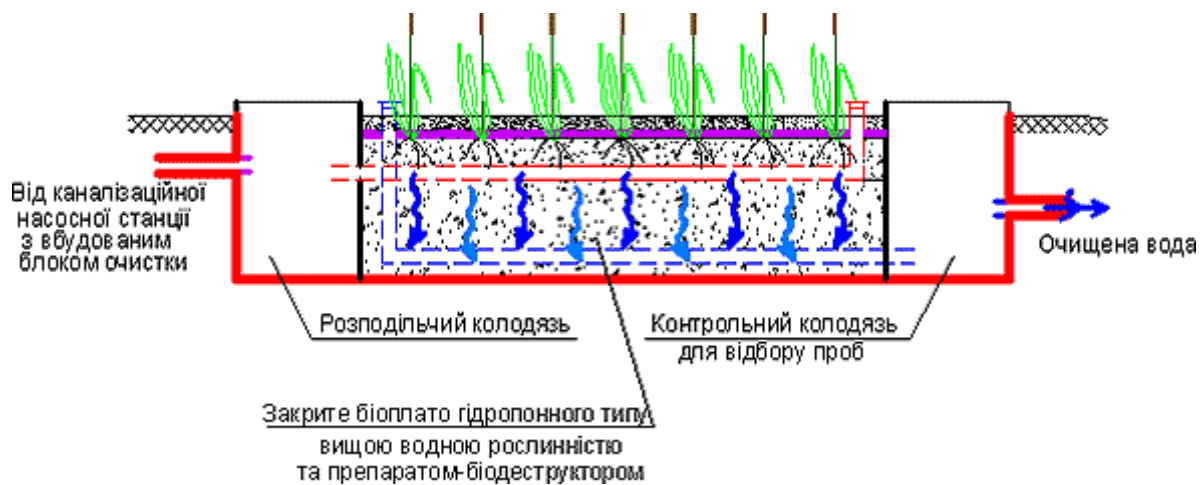


Рис.3. Типова схематична конструкція ЗБГТ

ЗБГТ – інженерна споруда, яка використовується тільки для доочистки попередньо очищених в каналізаційній насосній станції з вбудованим блоком очистки (КНС з ВБО) стічних та поверхневих вод. На рис.3 приведена типова схематична конструкція ЗБГТ. Стічні води від КНС з ВБО подаються в розподільчий колодезь, який часто розміщується безпосередньо в біоплато. Від розподільчого колодезя через систему перфорованих трубопроводів, які в конструктивному плані можуть прокладатися за паралельною або променевою схемою, вода надходить на біоплато. Фільтрація стічної води відбувається у вертикальному напрямі через шар завантаження (митий щебінь, гравій, керамзит). Використовуються фракції (мм): 1525, 2540, 4070. Товщина шару завантаження складає в середньому 1,01,5 м. Покриття споруди термоізоляційним матеріалом запобігає її промерзанню у зимовий період, та забезпечує ефективне очищення стічної води на протязі року. Конструктивно створюється природна аерація, що забезпечує дихання кореневищ ВВР та окислення забруднень. Вищі водні рослини (комиш і очерет озерний) висаджуються з густиною 46 рослин на 1 м<sup>2</sup>. Стічні води транспортують через гравійне завантаження фільтраційного басейну, кореневища вищих водних рослин та бактеріальний препарат, що сприяє розкладу важкоокислювальних органічних речовин. При високій забрудненості органічними речовинами стічні води перед подачею в ЗБГТ попередньо насичують киснем до концентрації вище 6 мг/л, що необхідно як для аеробного окислення органічних забруднень мікроорганізмами та перифітоном, так і для дихання кореневищ вищих водних рослин.

Конструкції ЗБГТ виконують різної у плані форми: прямокутної, овальної, довільної форми. Використання принципів ландшафтного дизайну при проектуванні та будівництві споруд біоплато дозволяє широко використовувати декоративні можливості споруд для покращення естетичних характеристик промислових майданчиків та інших територій.

Розроблені різні конструкції біоплато (однорядне і двошарове, одноступеневе і двоступеневе), які дозволяють здійснювати ефективне очищення та водовідведення

доочищених вод у потік ґрунтових вод або безпосередньо у водойми. На рис.4 і рис.5 представлені фото ЗБГТ на етапах введення в експлуатацію та на третьому році експлуатації.



Рис. 4. Введення в експлуатацію ЗБГТ



Рис. 5. Двоступеневе ЗБГТ на третьому році експлуатації

Окрім своїх функцій як біоінженерної споруди, біоплато як високопродуктивна екосистема створює просторову неоднорідність в існуючих збіднілих антропогенноприродних ландшафтах, надає додаткові місця існування та харчові ресурси для багатьох видів флори і фауни, що, у свою чергу, створює сприятливі умови для підтримки біорізноманіття [22, 25]. Використання принципів ландшафтного дизайну при проектуванні та будівництві споруд біоплато дозволяє широко використовувати декоративні можливості споруд для покращення естетичних характеристик промислових майданчиків та інших територій [22].

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Тимофеева С.С. Биотехнология обезвреживания сточных вод // Химия и технология воды, 1995. – Т.17, № 5. С. 525532.
2. Samkaram Unni K., Philip S. Heavy metal uptake and accumulation by *Thypha angustifolia* from wetlands around thermal power station // Int. J. Ecol. and Environ. Sci. – 1990. – 16, № 2/3. – P. 133144.
3. Короткевич Л.Г. К вопросу использования водоохранноочистных свойств тростника обыкновенного // Вод. ресурсы. – 1976. № 5. – С. 198204.
4. Seidel K. Gewasserreinigung durch höhere Pflanzen // Garten und Landschaft. – 1978. – 88, № 1. S . 917.

5. Gersberg R.M., Elkins B.V., Lyon S.R., Goldman C.R. Role of Aquatic Plants in Wastewater Treatment by Artificial Wetlands. – Water Research, March 1986. – Volume 20, № 3, P. 363368,
6. Dunbabin J.S., Bowne K.H. Potential use of constructed wetlands for treatment of industrial wastewaters containing metals // Sci. Total. Environ. – 1992. – 111, № 2/3. – P. 5660.
7. Gleichman – Verheyc E. G., Putten W.H., Vander L. Alvalwaterzuivering met helofytenfilters, een haalbaarheidsstudie // Tijdschr. Watervoorz. En. Efwalwaterbehande. – 1992. – 25, № 3. – P. 5660.
8. Hosokawa Yasushi, Miyoshi Eiich, Fukukawa Keita. Характеристика процесса очистки прибрежных вод тростниковыми зарослями // Rept. Part and Harbour. Res. Inat. – 1991. – 30, № 11. – P. 206257.
9. Дин Яньхуа. Исследование образцового проекта системы очистки сточных вод на увлажненных землях с зарослями тростника // Chim. J. Environ. Sci. 1992. – 13, № 2. – С. 813.
10. Blankenberg A.G.B., Braskerud B.C. "LIERDAMMEN" – a wetland testfield in Norway. Retention of nutrients, pesticides and sediments from a agriculture runoff. – Diffuse Pollution Conference, Dublin 2003.
11. Lloyd S.D, Fletcher T.D, Wong T.H.F., Wootton R.M (Australia). Assessment of Pollutant Removal Performance in a Biofiltration System. – Preliminary Results, 2nd South Pacific Stormwater Conference; Rain the Forgotten Resource, 27 – 29 June, 2001, Auckland, New Zealand. – P. 2030.
12. Hadlington Simon. An interestind reed // Chem. Brit. – 1991. – 27, № 4. – С.229.
13. Dawson G.F., Loveridge R.F., Bone D.A. Grop production and sewage treatment using gravel bed hydroponic erridation Ibid. 1989. 21, № 2 – P. 5764.
14. Healy, A. M. Cawleyb. Nutrient Processing Capacity of a Constructed Wetland in Western Ireland. – Journal of Environmental Quality, 2002. – Volume 31, P. 17391747.
15. Bishor Paul L., Eighmy T. Tayler. Aguatic wastewater treatment using Elodea nuttallii // Water Pollut. Contr. Fed. – 1989. 61, № 5. – P. 641663.
16. McAnally A.S., Benefield J.D. Use of constucted water hiacinth treatment systems to upgrade small flow municipal wastewater treatment // J. Environ. Sci and Health. – 1992. – 27, № 3. – P. 903927.
17. Исследование условий роста водного гиацинта в серебрсодержащих сточных водах и определение предела безвредного для него содержания серебра в таких водах / Чен Юаньгао, Дай Цюаньюй, Пи Юй, Чжан Хан // J. Ecol. 1992. –11, № 2. – P. 3035.
18. Дикиева Д. М., Петрова И.А. Химический состав макрофитов и факторы, определяющие концентрацию минеральных веществ в высших водных растениях / Гидробиологические процессы в водоемах / Под ред. Распопова И.М. Л.: Наука, 1983. – С.107213.
19. Смирнова Н.Н. Экологофизиологические особенности корневой системы прибрежноводной растительности // Гидробиологический журнал. – 1980. –Т.26, № 3. –С.6069.
20. Дмитриева Н.Г., Эйнон Л.О. Роль макрофитов в превращении фосфора в воде // Вод. ресурсы. – 1985. – № 5. – С. 101110.
21. Використання біологічних ставків з вищими водяними рослинами в практиці очищення стічних вод // Інформаційний бюлетень Держбуду. – Київ, 2002. № 4. – С. 38.
22. Биоплато – эффективная малозатратная экотехнология очистки сточных вод / Стольберг В.Ф., Ладыженский В.Н., Спирин А.И. // Екологія довкілля та безпека

життєдіяльності. – 2003. №3. – С.3234.

23. Ладыженский В.Н., Саратов И.Е. Защита водных объектов от загрязнения поверхностным стоком с территории полигонов ТБО. – 1ая Конференция с международним участием «Сотрудничество для решения проблемы отходов», 56 февраля 2004 г., Харьков, Украина.

24. Кравець В.В., Мережко О.І. Спосіб біологічного очищення поверхневих вод. Патент. 3550345/SU. // Промислова вартість. –1983. № 3.

25. Knight R.I. Wildlife habitat and public use benefits of treatment wetlands / Water Sci.Tech. – 1997. – Volume 35, Number 5, P. 3543.

26. Инженерные сооружения типа «биоплато» как блок доочистки и водоотведения с неканализованных территорий. – Тезисы докладов Международной конференции «AQUATERRA», СанктПетербург, 1999. – С.7273.