

ВИКОРИСТАННЯ БІОПЛАТО ДЛЯ ЗМЕНШЕННЯ ЗАБРУДНЕННЯ ПОВЕРХНЕВИХ ВОДОЙМ БІОГЕННИМИ РЕЧОВИНАМИ

Ігор Прокопенко

Київський національний університет будівництва і архітектури
31, пр. Повітряних Сил, Київ, 03037, Україна
proskopenco.2017@gmail.com, orcid.org/0009-0009-0129-3283

DOI: 10.32347/2524-0021.2025.52.90-100

Анотація. Сучасне суспільство наразі все частіше стикається з проблемою забезпечення всіх господарсько-питних потреб. Дефіцит питної води виникає внаслідок нераціонального використання природних джерел водопостачання, як поверхневих, так і підземних. В даній роботі проведено дослідження можливості використання штучних біоплато для очищення водойм та попередження ризику погіршення екологічного стану внаслідок біогенного забруднення викликаного поверхневим стоком з міських територій. Зроблено аналіз літературних джерел, в яких йдеться про фізико-хімічні процеси, які відбуваються під час очищення стічних вод у біоплато в залежності від їх конструкції. Описано які рослини задіяні в процесах очистки. Досліджено річку Дніпро в межах міста Києва та представлено результати вмісту забруднюючих речовин у воді. Та описано принцип очищення стічної води в біоплато і визначено ефективність його роботи. Серед основних механізмів очистки води є поєднання фізичних, хімічних та біологічних процесів.

Ключові слова: біоплато, речовини-забрудники, поверхневі водойми, якість води, поверхневий стік, стічні води.

ВСТУП

Водні ресурси, як національне надбання, яким користується сучасне суспільством, та яким будуть користуватися в майбутньому нащадки, вимагають до себе особливого ставлення. Екологічна рівновага та повне задоволення потреб населення і суспільного господарства у воді можуть бути досягнуті лише за умови раціонального використання водних ресурсів, їхньої охорони та збереження, а також покращення якості води й водного режиму річок та інших водних об'єктів.

Наразі проблема підвищення концентрації біогенних речовин в поверхневих водоймах та підземних джерелах широко розповсюджена. Це пов'язано із суттєвим накопиченням речовин-забрудників органічного походження, що в свою чергу

призводить до зниження рівня кисню у водоймах, збільшення кількості та різноманітності найпростіших організмів, замулення, цвітіння та погіршення кількісних, якісних характеристик водного середовища.

Оскільки ресурси водойм використовуються у різних народногосподарських цілях, в останній період у складі концепції охорони водних ресурсів водоймищ природоохористування пропонується як форма охорони водойм та природних ресурсів [3]. Охорона водних ресурсів у концепції зводиться до трьох основних напрямів: запобігання забрудненню (якісне виснаження); запобігання кількісному виснаженню; збереження певного внутрішньорічного розподілу.

Захист поверхневих та підземних водних об'єктів від забруднення передбачає використання комплексу природоохоронних заходів, які спрямовані на забезпечення

нормативних показників якісних та кількісних показників води, що можливе лише при використанні ефективних технологій очищення забруднених вод. Існуючі технології поступово втрачають свою ефективність та потребують значних капіталовкладень на експлуатацію та ремонт, проте набувають популярності розвиток альтернативних екологічно та технічно ефективних, економічно прийнятних технологій.

Актуальність нашого дослідження пов'язана із проведенням досліджень щодо можливості використання штучних біоплато різних конструкцій для покращення стану водойм та попередження ризику погіршення екологічного стану внаслідок біогенного забруднення викликаного поверхневим стоком з міських територій. Технології біоінженерних споруд (біоплато) є найбільш перспективними та економічно доцільними. Їх робота заснована на природних біологічних внутрішньоводоймних процесах, які протікають у водних екосистемах. [1-2] Відповідно до відомостей джерела [3] наразі у світі функціонує близько 2500 систем біологічної очистки, серед цих країн і Україна. Перші споруди біоплато на території нашої країни були введені в експлуатацію в Харківській області у 1998 р., і на теперішній час в Україні відомо понад 30 місць, де впроваджено біоінженерні технології.

Біоплато зазвичай використовуються на мільководдях в безпосередній близькості до населених пунктів, а також на територіях заправ та підтоплень. Це пов'язано з тим, що на території населеного пункту спостерігаються скиди недостатньо очищених стічних вод, які призводять до забруднення та погіршення якості поверхневих водойм.

Відведення промислового стоку на водочисні споруди в межах населених пунктів технічно здійсненне, а збирання стічних зливових вод з територій дренажних насосних станцій, автошляхів та мостів або відведення стічних вод з територій підприємств, що стоять окремо, досить проблематичні.

Положення розглянутих концепцій та проблема очищення вод міста та окремих підприємств можуть бути вирішені шляхом

застосування біогідроботанічного методу для очищення стічних вод у водоймах – зонах тяжіння промислових підприємств та великих міст.

АНАЛІЗ НАУКОВОЇ ЛІТЕРАТУРИ

Аналіз літературних відомостей та наукових досліджень вчених показує, що в системі біоплато відбуваються непрості фізико-хімічні механізми ліквідації забруднювачів зі стічних вод. У цій комплексній системі (рослини - мікроорганізми - завантаження) відбуваються аеробні та анаеробні біологічні процеси, що супроводжуються фільтрацією, адсорбцією, осадам, поглинанням і перетворенням рослинами біогенних елементів та інших сполук.

Наразі використовують різні конструкції біоплато, які не вимагають або майже не вимагають використання енергії, реагентів. Наприклад, Інститут гідробіології НАНУ запропонував використання закритого біоплато гідропонного типу, яке забезпечувало покращення стану вод за допомогою штучно створеного гідробіоценозу.

Також, слід зазначити наступне щодо використання біоінженерних споруд для доочистки стічних вод: а також для покращення кількісних та якісних параметрів поверхневих водойм показав їх високу ефективність.

Дослідженням пробами якості поверхневих вод річок присвячені роботи М. О. Клименка, Й. В. Гриба, В. В. Сондака, В. Й. Мельника, Ю. Р. Гроховської, О. Ю. Бедункової, Л. М. Стецюк, В. О. Конончука, І. І. Статника та багатьох інших науковців [6; 7–11].

Відповідно до проведених ними досліджень проблема покращення якісного стану вод можна вирішити за допомогою методу, який ґрунтується на використанні вищих водних рослин. Оскільки стічні води та поверхневі стоки з урбанізованої території в більшості випадків характеризуються складним та різноманітним хімічним складом політантів, підвищеним рівнем кислотності - вибір вищих рослин (макрофітів) для біоплато є дуже важливим етапом, які будуть максимально ефективними в роботі та стійкими до ряду антропогенних та хімічних впливів.

ОСНОВНА ЧАСТИНА

Біоплато є інженерною конструкцією, призначеною для очищення та доочищення господарсько-побутових, виробничих стічних вод, а також забрудненого поверхневого стоку. Воно практично не потребує витрат електроенергії чи використання хімічних реагентів і вимагає мінімального обслуговування під час експлуатації. В основу технології покладені природні процеси самоочищення, властиві водним та навколоводним екосистемам. Принцип технології „біоплато” полягає у використанні вищих водних рослин, таких як очерет, комиш, рогоз та інших, основні функція яких:

- фільтрація – сприяння осіданню завислих речовин;
- поглинальна – поглинання біогенних елементів і деяких органічних речовин;
- накопичувана – здатність нагромаджувати важкі (токсичні) метали і важкорозкладаючі органічні речовини;
- окислювальна – в процесі фотосинтезу вода збагачується киснем, що дозволяє покращити якісні показники води (азот амонійний, азот нітратний, азот нітритний та ін.);
- детоксикаційна – рослини здатні накопичувати токсичні речовини і перетворювати їх в не токсичні.

В якості об'єкта досліджень нами було обрано р. Дніпро в районі міста Київ. Місто Київ відноситься до міст мільйонників. Основною особливістю Києва є наявність великої гідрографічної «осі» – річки Дніпро, яка поділяє територію міста на дві частини – правобережну і лівобережну.

Вся гідрографічна мережа Києва відноситься до басейну Дніпра. На території міста розташовується майже 700 водних об'єктів різних типів (річки, струмки, озера, ставки, канали тощо). Площа їх водного дзеркала коливається від 0,0025 до 1,86 км², об'єми – 0,003-19,3 млн. м³. Середня глибина варіюється від 0,85 до 15 м, максимальна – від 1,85 до 28 м.

Протяжність малих річок, що течуть по території міста, таких як Либідь, Сирець, Борщагівка (Нивка), Котурка і Віта з

притоками у правобережній частині столиці та Дарниця – в Лівобережній складає 104,28 км.

Згідно генетичної класифікації водойми Києва поділяються на чотири типи: озера, які розташовані на заплавної території р. Дніпра (Бабине, Тельбин, Вирлиця та ін.); озера-стариці (каскад озер Опечень); стави на постійно існуючих та пересихаючих водотоках (на річках Борщагівка (Нивка), Горенка, Сирець та ін.); безстічні озера (Синє, Центральне, Глинка).

Київ забезпечується питною водою з трьох джерел водопостачання – річок Дніпра, Десни та підземних водоносних горизонтів. Артезіанський водопровід експлуатує свердловини сеноман – келовейського та середньоярського водоносних горизонтів, глибиною від 90 до 340 м.

Для господарсько – питного водопостачання м. Києва використовуються переважно води сеноман-келовейського та байоського водоносних горизонтів.

Для міста властива не тільки велика кількість водних об'єктів, але й їх розмаїття за походженням та господарським призначенням. На київські водойми істотно впливає міське середовище, що проявляє себе у постійному тиску на їх стан – якість води, гідрологічний режим, біорізноманіття. Це зумовлює зміну якості води та погіршує їхній стан.

Для міста властива не тільки велика кількість водних об'єктів, але й їх розмаїття за походженням та господарським призначенням. На київські водойми істотно впливає міське середовище, що проявляє себе у постійному тиску на їх стан – якість води, гідрологічний режим, біорізноманіття. Це зумовлює зміну якості води та погіршує їхній стан.

Проблема очищення та доочищення стічних вод перед їх потраплянням до басейну Дніпра гостро стоїть і для міста Київ (табл. 1-4). Оскільки водний басейн зазнає значного впливу. У зв'язку з цим їх доочищення перед скиданням у Дніпро стає важливим складником природоохоронної діяльності.

Табл. 1. Скид зворотних вод та забруднюючих речовин основними водокористувачами – забруднювачами поверхневих водних об'єктів**Table 1.** Discharge of return water and pollutants by major water users – polluters of surface water bodies

Найменування водокористувача-забруднювача	Наявність, потужність (м³/добу), ефективність використання (виробнича потужність) очисних споруд	2020 рік			2021 рік			2022 рік		
		Обсяг скидання зворотних вод, тис.м³	У тому числі обсяг скидання зворотних вод, тис.м³, забруднених речовин, що скидаються разом із	Кількість забруднюючих речовин, що скидаються разом із зворотними водами, т	Обсяг скидання зворотних вод, тис.м³	У тому числі обсяг скидання зворотних вод, тис.м³, забруднених речовин, що скидаються разом із	Кількість забруднюючих речовин, що скидаються разом із зворотними водами, т	Обсяг скидання зворотних вод, тис.м³	У тому числі обсяг скидання зворотних вод, тис.м³, забруднених речовин, що скидаються разом із	Кількість забруднюючих речовин, що скидаються разом із зворотними водами, т
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Канівське водосховище (р. Дніпро)										
ПрАТ 'Акціонерна Компанія 'КИЇВВОДО - КАНАЛ'	Наявні, 6570000 м³/добу, 99,99%	242370	16488	57503.12	263515	16252	51832.57	227700	15220	50634.89

Табл. 2. Скидання забруднюючих речовин із зворотними водами у поверхневі водні об'єкти**Table 2.** Discharge of pollutants with return waters into surface water bodies

Забруднююча речовина, що скидається разом із зворотними водами	2020 рік – обсяг забруднюючих речовин, тис. т	2021 рік – обсяг забруднюючих речовин, тис. т	2022 рік – обсяг забруднюючих речовин, тис. т
Азот амонійний	1,942	2,0212	1,4492
БСК ₅	2,5433	1,8802	1,7186
Завислі речовини	3,4445	2,7809	2,6168
Нітрати	9,0223	10,1782	8,7645
Нітрити	0,5989	0,5094	0,4503
Сульфати	12,3314	11,1461	7,6044
Сухий залишок	-	-	1,6588
Хлориди	20,8525	20,0074	17,7396
ХСК	8,1757	7,9442	7,4068
Залізо	0,08529	0,07119	0,06980
Нафтопродукти	0,015787	0,016147	0,00989
АСПАР	0,012162	0,010703	0,0074476
Фосфати	1,1691529	1,5910003	1,4108477

Табл. 3. Середньорічні концентрації забруднюючих речовин у контрольних створах водних об'єктів регіону за даними водокористувачів, які скидають зворотні води у поверхневі водні об'єкти**Table 3.** Average annual concentrations of pollutants in control sections of water bodies in the region according to data from water users who discharge return water into surface water bodies

Місце спостереження за якістю води	Забруднююча речовина, мг/дм ³										Нітроген		Фосфор	
	Магній	Хлориди	Сульфати	Гідрокарбонати	Натрій	Калій	Кальцій	Діхроматна окислювальність (ХСК)	БСК ₅	амонійний	нітритний	нітратний	ортофосфатів	загальний
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Канівське водосховище 854,5 км 500 м нижче Бортницької станції аерації	12,3	20,07	42,47	203,8	17,14	4,8	61,6	52,25	3,23	1,043	0,045	0,590	0,216	0,607

Табл. 4. Результати державного моніторингу вод**Table 4.** Results of state water monitoring

Назва водного об'єкта	Кількість державних моніторингових створів спостереження, од.		Відібрано та проаналізовано проб води, од.	Кількість показників, од.	Кількість випадків та назва речовин з перевищенням ГДК, од.
	Усього	У тому числі з перевищенням ГДК			
1	2	3	4	5	6
р. Дніпро, 897 км, н/б Київської ГЕС, питний водозабір м. Київ	1	1	10	0+78	БСК ₅ -3, ХСК-5, кадмій-11, нікель-11, ртуть-11, свинець-11, залізо-1, марганець-1
Канівське водосховище, 855,5 км, 500 м вище Бортницької станції аерації (БСА)	1	1	11	22+52	БСК ₅ -3, ХСК-11, кадмій-10, нікель-10, ртуть-10, свинець-10
р. Дніпро, 855 км, скидний канал БСА	1	1	11	22+53	БСК ₅ -3, ХСК-11, азот амонійний-11, нітрати-9, нітроти-9, розчинений кисень-1, кадмій-10, нікель-10, ртуть-10, свинець-10
Канівське водосховище, 854,5 км, 500 м нижче БСА	1	1	11	22+53	БСК ₅ -7, ХСК-10, кадмій-10, нікель-10, ртуть-10, свинець-10

Було проведено оцінку ефективності очищення поверхневих стічних вод, що протікають територією зони міського середовища, яка є природним біоплато, вивчено склад водно-повітряної рослинності біоплато, хімічний та мікробіологічний склад вод на водовипуску насосної станції – початку каналу біоплато та наприкінці каналу біоплато (ст.2) перед скиданням води в р. Дніпро. Води каналом біоплато загальною протяжністю 7 км протікають самопливом.

Формування якості поверхневих вод річки Дніпро відбувається під впливом як

природних, так і антропогенних чинників (скид недовантажено очищених стічних вод, поверхневий стік, аварійні скиди, наслідки військових дій).

Погіршенню якості поверхневих вод також сприяють нестабільні ландшафти, площі яких у басейні річки представлені городами та урбанізованими територіями. Кількісну оцінку екологічної стійкості ландшафту басейну оцінювали за коефіцієнтом екологічної стабілізації ландшафту – КЕСЛ (табл.5).

Табл. 5. Результати оцінки екологічної стійкості ландшафту басейну

Table 5. Results of the assessment of the ecological sustainability of the basin landscape

Характеристика	Площа структурних елементів басейну	
	км ²	%
Лісистість	1,5	6,4
Заболоченість	0,5	2,1
Озерність	2,3	9,7
Природоохоронні території	-	-
Розораність	12,2	51,7
Осушеність	-	-
Урбанізованість	6,5	27,5
Інші	0,7	3
Всього	23,6	100
КЕСЛ	0,23 ландшафт нестабільний з чітко вираженістю	
Екологічний індекс (Іе), середнє значення	2,73	
Індекс забруднення води (ІЗВ), середнє значення	IV клас (забруднена)	

Розрахунок КЕСЛ проводиться за формулою:

$$\text{КЕСЛ} = \Sigma F_{\text{ст}} / \Sigma F_{\text{нст}},$$

де, $\Sigma F_{\text{ст}}$ – сума площ стабільних територій, км²; $\Sigma F_{\text{нст}}$ – сума площ нестабільних територій, км².

Оцінка стабільності ландшафту здійснюється згідно наступної градації:

КЕСЛ < 0,5 – нестабільний з яскраво вираженою нестабільністю;

0,5 < КЕСЛ < 1,0 – нестабільний;

1,01 < КЕСЛ < 3,0 – умовно стабільний;

3,01 < КЕСЛ < 4,5 – стабільний;

КЕСЛ > 4,5 – стабільний з яскраво вираженою стабільністю.

У результаті проведеної комплексної оцінки екологічного стану басейну річки Дніпро встановлено, що під впливом як

природних, антропогенних та військових чинників територія басейну зазнала значних змін. Це спричинило деградацію гідрографічної мережі та критичне погіршення якості поверхневих вод. Така ситуація зумовлює необхідність розробки цілого ряду заходів, спрямованих на зупинення процесів деградації річкової екосистеми, підвищення її стійкості та відновлення якісного стану поверхневих вод.

Робота біоплато заснована на принципі очищення води за допомогою вищих рослин, воно зазвичай розташоване в місці притоку води в основний ставок, будується у вигляді невеликої довгастої водойми глибиною від кількох сантиметрів до метра. Дно, як правило, гідроізолюється за допомогою геотекстильної плівки.

При очищенні стічних вод найчастіше використовують такі види вищих водних рослин (ВВР), як очерет, очерет озерний, рогіз вузьколистий і широколистий, рдест гребінчастий і кучерявий, спіроделла багатокорінна, елодея, водний гіацинт (ейхорнія), касатик жовтий, сусак, стрілолист звичайний, гречка земноводна, резуха морська, уруть, хара, ірис та ін.

Як засипний матеріал частіше всього використовується гравій, в який пересаджують вищу водну рослинність. Вода з природними відкладеннями, що надходить з основного водоймища, приносить з собою велику кількість органіки, яка є живильним середовищем для вищих водних рослин. Протікаючи через кореневу систему рослин вода збагачується киснем, очищається механічно і потрапляє у водойму через вилив.

У присутності вищих водних рослин у 3-5 разів швидше розкладаються нафтопродукти. Життєдіяльність макрофітів сприяє спливанню нафтопродуктів, що осіли на дно, та їх руйнування.

За технологією біоплато забезпечує очищення господарсько-побутових стічних вод по БПК до 5-10 мг/л, по зважених речовинах – до 8-12 мг/л, причому наявність зважених речовин в основному пов'язана з виносом їх з фільтруючого шару. Значно (на 40-70%) знижується вміст з'єднань азоту і фосфору. Споруди біоплато, вдало розташовані по рельєфу місцевості, не вимагають застосування електроенергії, хімікатів і забезпечують надійну роботу як у літній, так і в зимовий період. Для очищення виробничих стічних вод за технологією біоплато потрібно робити їхню передочистку у відповідності з особливостями їх складу та властивостей.[4]

Основу повітряно-водної рослинності природного біоплато склали очерет озерний та рогоз вузько- та широколистий, які входять до складу найпоширеніших рослин водно-болотного комплексу регіону. Ці види відносяться до одного з найбільш перспективних для очищення води.

Життєдіяльність водних бактерій лежить в основі важливих процесів, що

зумовлюють якість води та процеси самоочищення, що використовуються у біоплато. Мікробіологічні показники добре відбивають рівень евтрофікації водойми.

З них загальна кількість бактерій є відносно стабільним показником, що характеризує стан водоймища.

Вивчення динаміки розвитку бактеріопланктону дозволяє простежити зміну якості води. При дослідженні санітарного стану води та ґрунту в районі, що вивчається, були визначені: загальне мікробне число, кількість коліформних бактерій у пробах води та ґрунту, оцінено ступінь забруднення води та ґрунту за мікробіологічними характеристиками. Дослідження води проводились стандартними методами.

Як видно з даних рис. 1, відбувається ефективна очищення поверхневих забруднених стічних вод при їх протіканні по біоплато. Відповідно до даних таблиці Л спостерігається суттєве зменшення концентрації речовин-ксенобіотиків. Відзначається висока ефективність видалення біогенних елементів [5, 7] і токсичних металів [8, 9, 10] з води.

Рослини використовують біогенні речовини на побудову власної маси. У прикореневій системі створюються умови, що сприяють кращому поглинанню речовин [12-14]. Зазначимо, що поглинання рослинами елементів характеризується видовою специфічністю і може досягати істотних величин. Найбільша здатність до акумулювання важких металів відзначена у занурених рослин, серед яких за інтенсивністю накопичення виділяються харові водорості, елодея, роголистник, рдести, уруть. Деякі рослини акумулюють речовини-ксенобіотики, важкі (токсичні) метали вибірково. Так, ряска накопичує досить багато бору, харові водорості – мідь, очерет – ртуть. Інтенсивність поглинання токсичних сполук залежить від пори року та розвитку рослин; найбільший вміст елементів спостерігається в період їхнього інтенсивного зростання, а найменше – восени [15-16].

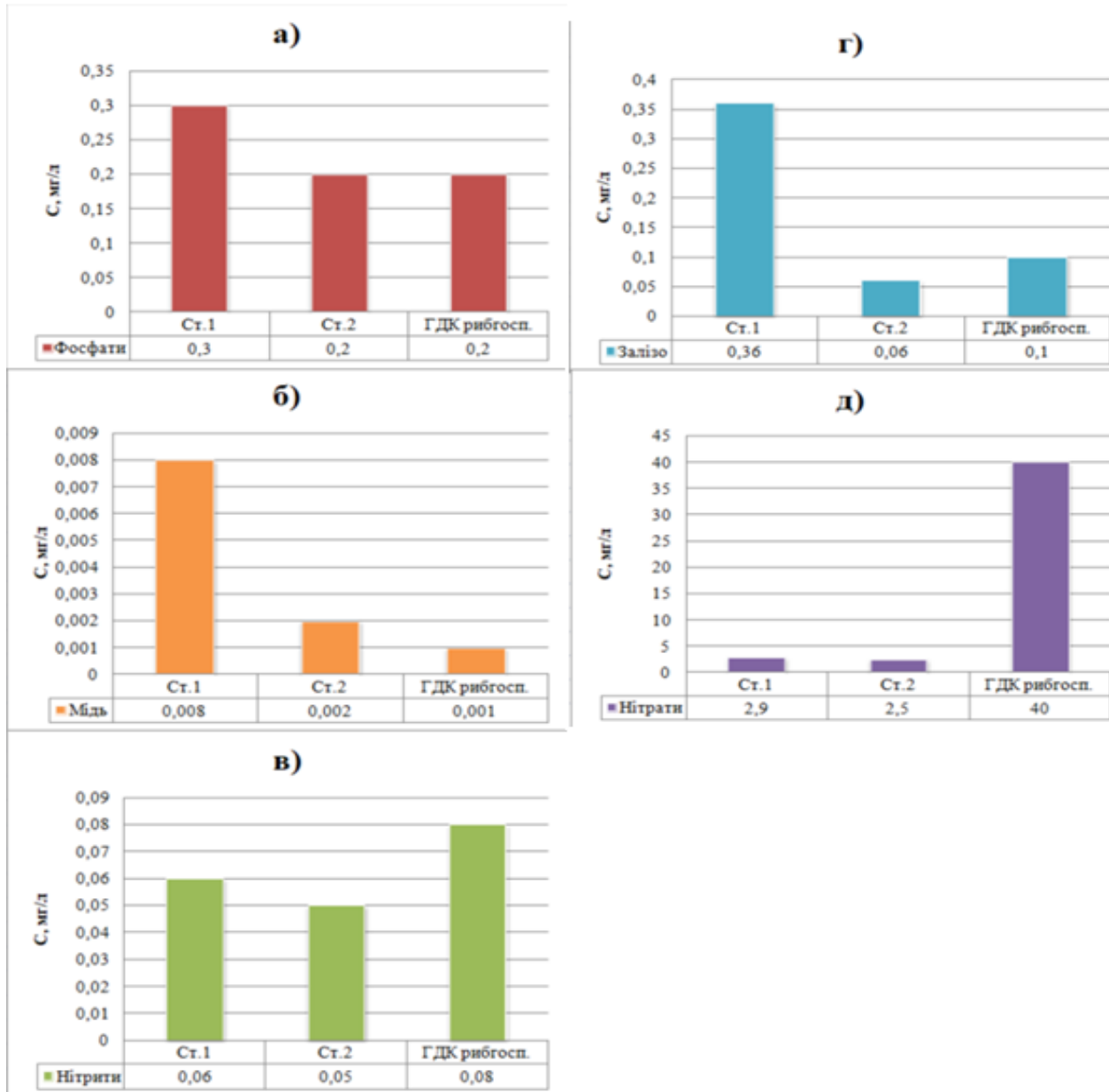


Рис. 1. Концентрації забруднюючих речовин при їх протіканні через біоплато на початку каналу в Бортничах – Ст1, та в кінці – Ст2

Fig. 1. Concentrations of pollutants as they flow through the bioplateau at the beginning of the canal in Bortnychy – St1, and at the end – St2

Табл. 6. Значення концентрацій низки забруднюючих речовин

Table 6. Concentration values of a number of pollutants

Забруднюючі речовини	Концентрація забруднюючих речовин (в долях ГДК _{рибгосп.})	
	Початок каналу - біоплато	Кінець каналу - біоплато
Мідь	8	2
Залізо	3,6	0,6
Фосфати	1,3	1,2
Нітрити	0,6	0,08
Нітрати	0,08	0,06

ВИСНОВКИ

Отже, в результаті проведеного дослідження очистки поверхневих вод від забруднюючих речовин за допомогою методу штучного біоплато можна виділити основні висновки.

1. Біоплато являється ефективною природоорієнтованою технологією очищення стічних вод, яка забезпечує зниження вмісту органічних речовин, біогенних елементів, завислих речовин та важких металів у поверхневих водах.

2. Біоплато поєднує у собі фізичні механізми очищення (седиментація та фільтрація), хімічні механізми (сорбція, окисно-відновні реакції), біологічні механізми (дія мікроорганізмів і гідрофітів)

3. Ефективність роботи біоплато залежить від правильно підбраного рослинного насадження, швидкості руху води та гідрологічних умов.

4. Використання біоплато дійсно сприяє відновленню екологічного стану повеневих водних об'єктів.

5. Впровадження біоплато у системах очищення стічних вод є не тільки екологічно доцільним, а і економічно вигідним, особливо для невеликих населених пунктів, адже не потребує занадто великих капіталовкладень у порівнянні з іншими методами очищення стічних вод.

ЛІТЕРАТУРА

1. **Романенко В. Д.** Природні і штучні біоплато фундаментальні та прикладні аспекти / В.Д. Романенко Ю.Г. Крот, Т.Я. Киризія. Київ : Наук. думка, 2012. 110 с.
2. **Міхєєв О. М.** Адаптація гідрофітної системи для очистки стічних вод підприємств цивільної авіації / О.М. Міхєєв, С.М. Маджд, О.І. Семенова, Т.І. Дмитруха // Хімія і технологія води, 2015. 37(6). С.574–581.
3. **Завацький С. В.** Біоінженерні споруди для очищення стічних вод малої продуктивності / С. В. Завацький, Л. С. Котельчук, А. Л. Котельчук // Чернігівський науковий часопис Чернігівського державного інституту економіки і управління. Сер. 2 : Техніка і природа. 2012. Вип. 1. С. 57-63.
4. **Кравець В. В., Остапенко Н. В.** Використання біологічних ставків з вищими водними рослинами в практиці очищення стічних вод // Інформаційний бюлетень Держбуду. Київ, 2002. № 4. С. 38.
5. **Відновна гідроекологія порушених річкових та озерах систем (гідрохмія, гідробіологія, гірарологія, управління) /** Й.В.Гриб, М.О.Клименко, В.В.Сондак. ISBN 966-7518-16-7
6. **Мельник В. Й.** Екологічна оцінка якості води ріки Устя // Качество воды и здоровье человека: Сб. науч. ст. Одесса, 1999. С.34-38.
7. **Клименко М. О., Гроховська Ю. Р.** Гідрохімічна характеристика річки Устя // Вісник НУВГП. Сільськогосподарські науки : зб. наук. праць. Рівне : НУВГП, 2006. Вип. 3(35). С. 10–17.
8. **Бєдункова О. О., Конончук В. О.** Токсикологічна оцінка поверхневих вод на донних вкладах річки Устя методом біотестування // Наукові записки Тернопільського національного педагогічного університету ім. В. Гнатюка. Сер. біологія. Тернопіль, 2016. Вип. 1(65). С. 33–39.
9. **Клименко М. О., Статник І. І.** Екологічний розвиток стану малих річок України. Ландшафтний дизайн прикордонного Бугу та його водозбірного басейну в рамках сталого економічного розвитку як елемент Програми «Чиста Балтика» // 4-та Міжнародна наукова конференція. Наленчув, 1-2 грудня 2000 р. С. 23–28.
10. **Стецюк Л. М.** Особливості міграції важких металів в річці Устя. Вісник НУВГП // Сільськогосподарські науки : зб. наук, праць. Рівне : НУВГП, 2009. Вип. 2 (46). С. 43–49.
11. **Дмитренко Т. В.** Аналіз сучасного стану проблеми екологічної деградації малих річок України [Текст] / Т. В Дмитренко, Ю. І. Вергелес // Комунальне господарство міст, 2016. Вип. 132. С.93-97.
12. **Jenssen P. D., Mæhlum T., Krogstad, T.** Potential Use of Constructed Wetlands for Wastewater Treatment in Northern Environments, Water Science & Technology, 1993, 28(10), 149-157.
13. **Stein O. R., Hook P. B.** Temperature, plants, and oxygen: how does season affect constructed wetland performance? // Journal of Environmental Science and Health, 2005, 40(6-7), 1331-1342.
14. **Kadlec R. H., Reddy K. R.** Temperature effects in treatment wetlands // Water Environment Research, 2001, 73(5), 543-557.
15. **Старжинський П., Прокопенко І.** Динаміка змін показників якості води р. Дніпро в межах м. Київ // Проблеми водопостачання, водовідведення та гідравліки, 2025, (49), 61–73.

<https://doi.org/10.32347/2524-0021.2025.49.61-73>

16. Жукова О. Г., Старжинський П. С., Прокопенко І. О., Кордуба І. Б., Ляшок І. О. Біоплато як ефективний спосіб зниження рівня забруднення водоймів урбоєкосистем // Рациональне використання природних ресурсів в умовах глобальних викликів : колективна монографія ; за заг. ред. Т. О. Чайки. Полтава : Астроя, 2025, 254-265.

REFERENCES

1. Romanenko, V. D., Krot, Yu. G., & Kyryziy, T. Ya. (2012). *Natural and artificial bioplateaus fundamental and applied aspects*. Kyiv: Naukova Dumka. [in Ukrainian]
2. Mikheev, O. M., Madzhd, S. M., Semenova, O. I., Dmytrukha, T. I. (2015). Adaptation of hydrophyte system for wastewater treatment of civil aviation enterprises. *Chemistry and technology of water*. 37(6). 574–581. <https://dspace.nuft.edu.ua/handle/123456789/23547>
3. Zavatsky, S. V., Kotelchuk, L. S., & Kotelchuk, A. L. (2012). Bioengineering structures for wastewater treatment of low productivity. *Chernihiv scientific journal. Series 2, Technology and nature*. 1(3). 57-63. http://nbuv.gov.ua/UJRN/Chnch_tekh_2012_1_9
4. Kravets, V. V., & Ostapenko, N. V. (2002). The use of biological ponds with higher aquatic plants in the practice of wastewater treatment. *Information bulletin of the State Construction Service*, 4. 38. [in Ukrainian]
5. Klymenko, M. O., Hryb, Y. V., & Sondak, V. V. (1999). *Vidnovna hidroekologhiia porushenykh richkovykh ta ozernykh system : navch. posibnyk*. Rivne : Volynski oberehy. [in Ukrainian]
6. Melnyk, V. Y. (1999). *Ekologichna otsinka yakosti vody richky Ustia*. Kachestvo vody i zdorove cheloveka : sb. nauch. st. Odessa, 34– 38. [in Ukrainian]
7. Klymenko, M. O., & Hrokhovska, Yu. R. (2006). Hidrokhimichna kharakterystyka richky Ustia. *Visnyk NUVHP. Silskohospodarski nauky*. 3(35). 10–17. [in Ukrainian]
8. Biedunkova, O. O., & Kononchuk, V. O. (2016). Toksykologichna otsinka poverkhnevyykh vod na donnykh vidkladiv richky Ustia metodom biotestuvannia. *Naukovi zapysky Ternopilskoho*

natsionalnoho pedahohichnoho universytetu im. V. Hnatiuka. 1(65). 33–39. [in Ukrainian]

9. Klymenko, M. O., & Statnyk, I. I. (2000). *Ekologichna otsinka stanu malykh richok Ukrainy. Zagospodarowanie granicznego Bugu i jego zlewni w ramach zrownowazonego rozwoju gospodarczego jako element Programu Czysty Baltyk: 4 Miedzynarodowa Konferencja Naukowa*. Naleczow, 1-2 grydnia 2000. 23–28. [in Ukrainian]
10. Stetsiuk, L. M. (2009). Osoblyvosti mihratsii vazhkykh metaliv v richtsi Ustia. *Visnyk NUVHP. Silskohospodarski nauky : zb. nauk, prats*. 2(46). S. 43–49. [in Ukrainian]
11. Dmytrenko, T. V., & Vergeles, Yu. I. (2016). Analysis of the current state of the problem of ecological degradation of small rivers of Ukraine. *Municipal economy of cities*. 132. 93-97. [in Ukrainian]
12. Jenssen, P. D., Mæhlum, T., & Krogstad, T. (1993). Potential Use of Constructed Wetlands for Wastewater Treatment in Northern Environments, *Water Science & Technology*, 28(10), 149-157. <https://doi.org/10.2166/wst.1993.0223>
13. Stein, O. R., & Hook, P. B. (2005). Temperature, plants, and oxygen: how does season affect constructed wetland performance? *Journal of Environmental Science and Health*, 40(6-7), 1331-1342. <https://doi.org/10.1081/ese-200055840>
14. Kadlec, R. H., & Reddy, K. R. (2001). Temperature effects in treatment wetlands. *Water Environment Research* 73(5), 543-557. <https://doi.org/10.2175/106143001x139614>
15. Starzhynskyi, P., & Prokopenko, I. (2025). Dynamics of changes in water quality indicators of the Dnipro River within the boundaries of the city of Kyiv. *Problems of Water Supply, Sewerage and Hydraulic*, (49), 61–73. <https://doi.org/10.32347/2524-0021.2025.49.61-73>
16. Zhukova O. G., Starzhynskyi P. S., Prokopenko I. O., Korduba I. B., Lyashok I. O. (2025). Bioplateau as an effective way to reduce the level of pollution of water bodies of urban ecosystems. *Rational use of natural resources in the face of global challenges: collective monograph*; ed. T. O. Chaika. 254-265. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/397331843_Racionalne_vikoristanna_prirodnih_resursiv_v_umovah_globalnih_viklikiv [in Ukrainian]

Use of bioplates to reduce pollution of surface waters with biogenic substances

Ihor Prokopenko

Abstract. Modern society is increasingly faced with the problem of providing all economic and drinking needs. The shortage of drinking water arises as a result of the irrational use of natural sources of water supply, both surface and underground. This work studies the possibility of using artificial bioplateaus for cleaning water bodies and preventing the risk of deterioration of the ecological state due to biogenic pollution caused by surface runoff from urban areas. An analysis of literary sources is made, which discuss the physicochemical processes that occur during wastewater treatment in bioplateaus, depending on their design. The plants involved in the cleaning processes are described. The Dnipro River within the city of Kyiv is studied and the results of the content of pollutants in water are presented. The principle of wastewater treatment in bioplateaus is described and the effectiveness of its operation is determined. Among the main mechanisms of water purification are a combination of physical, chemical and biological processes.

Keywords: bioplateau, pollutants, surface water bodies, water quality, surface runoff, wastewater.

Стаття надійшла до редакції 15.11.2025