

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ПИСАНКО ЯНА ІВАНІВНА

УДК 504:502.51(282)(477)(043.3)

**ОСОБЛИВОСТІ СТРУКТУРНО-ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ ОРГАНІЗАЦІЇ
ТЕХНОГЕННО ЗМІНЕНОЇ ВОДНОЇ ЕКОСИСТЕМИ ГИРЛОВОЇ ДІЛЯНКИ
РІЧКИ ІРПІНЬ**

21.06.01 – екологічна безпека

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Київ – 2019

Дисертацією є рукопис

Роботу виконано на кафедрі екології Національного авіаційного університету Міністерства освіти і науки України

Науковий керівник: кандидат технічних наук, доцент,
Маджд Світлана Михайлівна,
Національний авіаційний університет,
доцент кафедри екології

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор,
Дмитриков Валерій Павлович,
Полтавська державна аграрна академія,
професор кафедри технології та обладнання
переробних і харчових виробництв,
м. Полтава

кандидат технічних наук, доцент,
Абрамова Алла Олександрівна,
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут
імені Ігоря Сікорського»,
доцент кафедри кібернетики
хіміко-технологічних процесів,
м. Київ

Захист відбудеться «6» червня 2019 р. о «14³⁰» годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 26.062.09 Національного авіаційного університету за адресою: проспект Космонавта Комарова, 1, корпус 12, ауд. 211, м. Київ, Україна, 03058.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Національного авіаційного університету за адресою проспект Космонавта Комарова 1, м. Київ, 03058 і на сайті: www.nau.edu.ua

Автореферат розісланий «___» _____ 2019 р.

Вчений секретар спеціалізованої
вченої ради Д 26.062.09, к.т.н., доцент



Л.М. Черняк

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність роботи. На даному етапі розвитку в Україні не залишилось річок з непорушним станом їх водних екосистем в умовах інтенсивного антропогенного впливу. Проблема екологічної безпеки водних об'єктів актуальна для всіх водних басейнів держави.

Змістовно дисертаційна робота направлена на встановлення наслідків техногенних впливів для гирлової ділянки середньої р. Ірпінь – правої притоки р. Дніпро. Саме гирлова ділянка виступає найбільш репрезентативною складовою екологічного стану річки, віддзеркалює наслідки техногенних впливів, що відбуваються в її басейні. Річці Ірпінь, як і багатьом іншим річкам України, не вдалося зберегти свій непорушний гідрологічний, гідрохімічний режими та екологічний стан, що стало причиною перетворення її в техногенно змінену водну екосистему. Зміна сукупності параметрів водного середовища сприяє порушенню гомеостазу і формуванню техногенно змінених водних екосистем різного ступеня забрудненості. Враховуючи ієрархічність рівнів розвитку водних екосистем, дослідження стану середніх річок дозволить розробити водоохоронні заходи, які сприятимуть покращенню якості великих річок.

Дослідженням екологічного стану водних екосистем річок України займались: Осадчий В. І. (2007–2012)., Романенко В. Д. (1990–2015), Хільчевський В. К. (2000–2013), Сніжко С. І. (2001), Яцик А. В. (1995–2004), Данилова-Данильян В. І. (2000), Удод В. М. (1997–2017), Архипова Л. М. (2008–2013). Аналіз літературних джерел підтвердив недостатню вивченість процесів формування та функціонування техногенно змінених водних екосистем, дослідження яких є актуальним науково-практичним завданням.

Своєчасність та актуальність теми визначена впровадженням у 2018 році в Україні інтегрованого підходу до управління водними ресурсами за басейновим принципом, у зв'язку з початком реалізації планів управління річковими басейнами з 2021 р., у тому числі й басейном р. Ірпінь. Зважаючи на те, що управління річковими басейнами передбачає також оцінку їх екологічного стану, нами було закладено основи в цьому напрямку для гирлової ділянки р. Ірпінь.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота виконана автором відповідно до наукових тематик Національного авіаційного університету: «Екотоксикологічна оцінка об'єктів мегаполісу на прикладі м. Києва» (державний реєстраційний номер 0117U002372, 2017–2019 рр.), у якій здобувач була виконавцем, «Застосування методики інтегральних систем індикаторів для оцінки стану техно-природних гідроекосистем» (державний реєстраційний номер 0118U004286, 2018–2019 рр.), у якій здобувач була відповідальним виконавцем, а також відповідно до «Загальнодержавної цільової програми розвитку водного господарства та екологічного оздоровлення басейну річки Дніпро на період до 2021 року».

Метою дисертаційної роботи є удосконалення науково-методологічних засад комплексної оцінки та покращення екологічного стану техногенно зміненої водної екосистеми гирлової ділянки р. Ірпінь.

Відповідно до поставленої мети в дисертації сформульовано та вирішено такі завдання:

- обґрунтовано методологію та методи проведення експериментальних і теоретичних досліджень техногенно зміненої водної екосистеми;
- виконано якісне та кількісне оцінювання техногенно зміненої водної екосистеми гирлової ділянки р. Ірпінь, виявлено ключові чинники порушення структурно-функціональної організації цієї гідроекосистеми;
- розроблено інтегральну систему індикаторів для екологічного контролю техногенно зміненої водної екосистеми;
- розроблено і впроваджено комплексну біоінженерну систему типу біоплато для покращення екологічного стану техногенно зміненої водної екосистеми.

Об'єкт дослідження – процес формування екологічного стану водної екосистеми в умовах техногенного впливу.

Предмет дослідження – закономірності впливу техногенних чинників на процес формування екологічного стану водної екосистеми гирлової ділянки р. Ірпінь.

Методи дослідження. Для вирішення наукових і методологічних завдань застосовувались методи систематизації, формалізації, статистичного оброблення та узагальнення даних екологічного моніторингу стану водної екосистеми р. Ірпінь, а також статистично-математичні методи, методи математичного моделювання і прогнозування екологічного стану гідроекосистеми.

Наукова новизна одержаних результатів полягає у створенні нових методологічних засад для комплексного оцінювання та відновлення екологічного стану техногенно зміненої водної екосистеми гирлової ділянки р. Ірпінь. Під час дослідження:

вперше:

- запропоновано застосовувати для дослідження процесів формування техногенно зміненої водної екосистеми концептуальну модель системи річок, до складу якої входять мала річка та гирлова ділянка середньої річки;
- узагальнено якісні та кількісні характеристики екологічного стану всіх складових гирлової ділянки р. Ірпінь; розраховано екологічну ємність, техноємність гідроекосистем та визначено баланс екологічного резерву техногенно зміненої водної екосистеми;

удосконалено:

- методику інтегральних систем індикаторів контролю, що дало можливість кількісно визначити дію техногенних чинників, стан гідроекосистеми та її реакцію, у вигляді трансформації в техногенно змінену водну екосистему;
- заходи з підвищення рівня екологічної безпеки техногенно зміненої водної екосистеми шляхом застосування комплексної біоінженерної системи для очищення водойм;

набули подальшого розвитку методичні засади застосування інтегральних систем індикаторів для екологічного контролю та біоінженерної конструкції для покращення екологічного стану техногенно змінених водних екосистем малих та середніх річок.

Практичне значення отриманих результатів. Сформовано ретроспективну базу даних якісного та кількісного стану гирлової ділянки р. Ірпінь у процесі

динамічного розвитку техногенно зміненої водної екосистеми (2006–2018) рр. Отримана інформація буде використана під час розроблення проекту Плану управління річковим басейном Ірпеня.

Створено методологічний підхід для оцінювання структурних та функціональних змін техногенно змінених гідроекосистем із застосуванням екологічних індикаторів контролю (А.с. №67248 «Сучасна методологія оцінки структурно-функціональних змін водних екосистем річок, внаслідок постійно діючого техногенного навантаження»).

Розроблено нову комплексну біоінженерну систему типу біоплато (деклараційний патент України №117067) для забезпечення покращення екологічного стану всіх складових гідроекосистеми малих та середніх річок, шляхом очищення поверхневого, придонного шару води та донних відкладів, що створює екологічно безпечні умови їх розвитку. Отримані результати досліджень використовуються в практичній діяльності ТОВ Науково-інженерний центр «Потенціал-4» (м. Київ) та ТОВ Науково-виробничого об'єднання «ЕТНА» (м. Запоріжжя).

Результати дисертаційних досліджень упроваджено в навчальний процес Національного авіаційного університету під час проведення лабораторних робіт з дисципліни «Загальна екологія та неоекологія».

Особистий внесок здобувача полягає у формулюванні ідеї, мети, наукових завдань дослідження, наукових положень, висновків і рекомендацій. Усі наукові результати, викладені у дисертаційній роботі, отримані автором самостійно.

У роботах, які написано у співавторстві, особистий внесок автора полягає в такому: у роботі [1] підготовлено розділ 6. «Приклад застосування біоінженерних споруд для очищення водойм» та 7.4. «Технологія виготовлення зануреного біоплато з наземних рослин та використання його для очищення води від важких металів»; [2–7, 9] проведено літературний пошук за темою публікації, виконано математичні розрахунки; [2–5] систематизовано та формалізовано дані моніторингу стану досліджуваної ділянки р. Ірпінь; [3, 9] досліджено світовий досвід застосування інтегральних систем індикаторів; [5, 9] розроблено методику визначення індикаторів реагування гідроекосистеми на техногенні впливи; [7] виділено основні забруднювачі гідроекосистеми річки та досліджено сезонну динаміку змін їх концентрацій, виконано моделювання процесів самоочищення; [8, 10] проведено інформаційний пошук щодо особливостей впливу іонів металів на стан складових гідроекосистеми та здоров'я людини, а також досліджено методи їх вилучення з води; [10] проаналізовано антропогенні фактори, які впливають на стан річкових гідроекосистем; [11] систематизовано та узагальнено моніторингові дані стану малих річок басейну Ірпеня в межах м. Києва, охарактеризовано та узагальнено їх екологічний стан; [22] виконано патентний пошук, здійснено обґрунтування видів макрофітів для біотичної компоненти біоплато, взято участь у конструюванні блоку наплавного біоплато та перевіріці його ефективність в лабораторних і польових умовах; [23] проведено розрахунки та інтерпретовано отримані результати.

Апробація результатів. Дослідження, наведені в роботі, обговорювались на наукових конференціях: XIV Міжнародній науково-технічній конференції

«Проблеми екологічної безпеки» (м. Кременчук, 12–14 жовтня 2016); International scientific-practical conference of young scientists «Build-master-class-2016» (м. Київ, 16–18 листопада 2016); Всеукраїнська науково-практична конференція молодих учених та студентів «Екологічна безпека держави» (м. Київ, 21 квітня 2016); Международная научно-практическая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых, приуроченная к проведению Года экологии в России, (г. Брянск, 26–28 апреля 2017); VI Міжнародна науково-технічна конференція «Проблеми хімотології» (м. Київ – Львівська обл., 19–23 червня 2017); Всеукраїнська науково-практична конференція молодих учених та студентів «Екологічна безпека держави» (м. Київ, 20 квітня 2017); XVII міжнародна науково-практична конференція молодих учених і студентів «Політ. Сучасні проблеми науки» (м. Київ, 4–7 квітня 2017); Proceeding of the V International Scientific and Technical Conference «Pure water. Fundamental, applied and industrial aspects» (Kyiv, 26–27 October 2017); Всеукраїнська науково-практична конференція молодих учених та студентів «Екологічна безпека держави» (м. Київ, 19 квітня 2018); XII Всеукраїнська науково-практична конференція «Біотехнологія XXI століття» присвячена 100-річчю з дня народження Артура Корнберга (м. Київ, 20 квітня 2018).

Публікації. Результати дисертаційних досліджень викладено в 21 науковій праці, з яких: 1 розділ колективної монографії; 10 статей у фахових журналах, з них 6, що входять до наукометричних баз України, 2 в журналі, який входить до наукометричної бази Scopus, 2 в закордонних журналах; 11 тез у матеріалах вітчизняних та міжнародних конференцій; 1 патент, 1 авторське свідоцтво.

Структура та обсяг роботи. Дисертаційна робота складається зі вступу, п'яти розділів, висновків до розділів, списку використаних джерел, додатків. Загальний обсяг дисертації 166 сторінок, з них 127 сторінок основного тексту. Дисертація містить 20 таблиць, 22 рисунки, 199 найменувань використаних джерел.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано актуальність роботи, зв'язок дисертації з науковими програмами, планами, сформульовано мету, об'єкт, предмет та основні завдання дослідження, визначено наукову новизну та практичне значення проведених досліджень, а також особистий внесок автора.

У **першому розділі** проведено детальний аналіз літературних джерел за темою дисертаційного дослідження. Розглянуто законодавчу базу України та країн Європи в галузі охорони та управління водними ресурсами, проаналізовано чинні у державі міжнародні директиви та конвенції; охарактеризовано основні принципи екологічного нормування якості поверхневих вод. Визначено основні причини сучасного погіршення екологічного стану річок України та їх трансформацій у техногенно змінені водні екосистеми. Проведено аналіз та порівняння застосування нормативів екологічної безпеки водокористування та екологічних нормативів якості вод під час дослідження гідроекосистем, відмічено їх основні переваги та недоліки. Розглянуто досвід міжнародних організацій у розробленні та застосуванні методик систем індикаторів для дослідження стану гідроекосистем. Охарактеризовано доцільність застосування біоінженерних споруд (біоплато) для оптимізації екологічного стану техногенно змінених водних екосистеми та сприяння їх еколого-

безпечному розвитку. Сформовано напрям та визначено завдання дослідження, які розглянуто в наступних розділах.

У другому розділі розроблено алгоритм послідовності проведення теоретичних та експериментальних досліджень, що дозволив надалі розробити теоретичні та методичні засади покращення екологічного стану техногенно зміненої водної екосистеми (рис. 1).



Рис. 1. Схема етапів проведення дисертаційного дослідження

Теоретично обґрунтовано етапи формування техногенно змінених водних екосистем різного ступеня забрудненості (рис. 2), що передбачало комплексне дослідження закономірностей їх розвитку за тривалий період.



Рис. 2. Схема стадій формування техногенно зміненої водної екосистеми

Формування техногенно зміненої водної екосистеми пов'язано із впливом дестабілізуючих екоризиків та з внутрішньоводойменними перетвореннями внаслідок формування еколого-небезпечних ендоризиків. Складність характеристики техногенно зміненої водної екосистеми полягає у відмінності процесів циркуляції речовин та енергії порівняно з нетрансформованою природною екосистемою, оскільки спостерігається дестабілізація екологічної рівноваги у напрямку деградації її структури та функцій.

Для дослідження особливостей розвитку техногенно зміненої водної екосистеми запропоновано застосовувати концептуальну модель системи річок, до складу якої входять «мала річка» – «середня річка» – «гирло середньої річки».

Модель характеризує всі ієрархічні рівні екосистеми, узгоджується з основними екологічними принципами і складається з певної множини елементів природного походження, існуючі взаємозв'язки між якими зумовлюють прояв природних екосистемних закономірностей у таких якостях та функціях, коли без їх взаємодії був би неможливий розвиток елементів підсистем.

У дисертаційній роботі концептуальну модель було застосовано для дослідження техногенно-зумовленої гирлової ділянки р. Ірпінь та її правої притоки р. Нивки, які є гідрографічними структурними елементами басейну р. Дніпро. У роботі детально досліджено складові концептуальної моделі системи річок. Проаналізовано основні характеристики використання та забруднення річкових вод досліджуваної ділянки р. Ірпінь завдовжки приблизно 45 км (від місця впадання р. Нивка та до гирла р. Ірпінь). З 2016–2018 рр. проведено моніторинг, посезонно відібрано проби поверхневого, придонного шару води та донних відкладів р. Нивка та р. Ірпінь у контрольних точках. Здійснено оброблення даних моніторингу Центральної геофізичної обсерваторії, Дніпровського басейнового управління та довідкової інформації за 2006–2017 рр.

Для визначення класу якості води та характеристики ступеня її забрудненості застосовували стандартні методики розрахунку комплексного екологічного індексу I_e та індексу забрудненості води (ІЗВ) за середніми значеннями показників за період з 2006 по 2018 рр. гирлової ділянки р. Ірпінь. Моделювання процесів самоочищення проводилось із застосуванням формули Міхаеліса–Ментена.

Для отримання прогнозних даних якості вод обрано статистичний метод, який базується на використанні речовинного балансу техногенно зміненої водної екосистеми за сумарним показником хімічного споживання кисню (ХСК). Такий підхід проведення експериментальних робіт дає інформацію щодо якісного виснаження вод та можливої деградації водної екосистеми.

Дослідження, наведені в роботі, проводились на базі лабораторій Національного авіаційного університету, Інституту клітинної біології та генетичної інженерії НАН України, лабораторні вимірювання виконувались в Інституті колоїдної хімії та хімії води НАН України, Спектрометричному центрі елементарного аналізу при Національному ботанічному саду.

У **третьому розділі** висвітлено результати систематизації та формалізації моніторингових даних. Узагальнено екологічний стан складових концептуальної моделі системи річок. Еколого-токсикологічна ситуація р. Нивка досить напружена, її вода належить до 7-ї категорії забруднення, клас забруднення переважно V (води

брудні). Такий стан характерний для незахищеної ділянки русла в селищах Жуляни, Софійська Боршагівка, гирлової ділянки та самого водоприймача – р. Ірпінь.

Створено базу ретроспективних даних з понад 1000 показників для характеристики екологічного стану поверхневих вод р. Ірпінь, у межах досліджуваної ділянки (від місця впадання р. Нивка і до її гирла). Встановлено загальні закономірності розвитку техногенно зміненої водної екосистеми.

Аналіз складових гідроекосистеми (табл. 1 та 2) дає змогу констатувати перевищення ГДК_{р/г} речовин антропогенного походження в усіх складових гідроекосистеми, що є причиною виникнення матеріальної кумуляції екотоксикантів у донних відкладах, утворення вторинних зон забруднення, зниження самовідновлювальної здатності, здатності до саморегуляції тощо.

Таблиця 1

Результати аналізу основних гідрохімічних показників вод р. Нивки

Показник	Приповерхневий шар води		Придонний шар води	
	концентрація	кратність перевищення ГДК _{р/г}	концентрація	кратність перевищення ГДК _{р/г}
ХСК, мгО ₂ /дм ³	39,0±0,4	2,6	50,0±0,5	3,3
NH ₄ ⁺ , мгN ₂ /дм ³	2,5±0,06	6,4	13,3±0,07	34,1
NO ₃ ⁻ , мгN ₂ /дм ³	1,9±0,08	НП*	6,2±0,09	НП*
NO ₂ ⁻ , мгN ₂ /дм ³	0,4±0,02	5	0,9±0,06	11,25

Таблиця 2

Результати аналізу вмісту сполук металів та нафтопродуктів у складових гідроекосистеми р. Нивки

Показник	Приповерхневий шар води		Придонний шар води		Донні відкладення	
	концентрація	кратність перевищення ГДК _{р/г}	концентрація	кратність перевищення ГДК _{р/г}	концентрація	кратність перевищення ГДК _{р/г}
Нафтопродукти, мг/дм ³	0,9±0,05	18	1,9±0,2	38	19,8±1,2	300
Cu ²⁺ , мг/дм ³	0,02±0,001	4	0,03±0,001	6	0,3±0,002	60
Zn ²⁺ , мг/дм ³	0,02±0,002	2	0,01±0,001	НП*	0,86±0,01	86
Cr ⁶⁺ , мг/дм ³	0,031±0,1	31	0,048±0,04	48	0,086±0,1	86

Примітка: НП* – не перевищує.

Наведені в табл. 1 та 2 дані дозволяють стверджувати, що води р. Нивки є одним із джерел забруднення для водної екосистеми р. Ірпінь та є чинником формування в ній матеріально-функціональної кумуляції.

Вивчено специфіку техногенних впливів хімічних сполук на водні екосистеми гирлової ділянки р. Ірпінь. Уперше виконано оцінювання екологічного стану р. Ірпінь від місця впадання забруднених вод р. Нивки і до гирла р. Ірпінь – Київського водосховища.

Середньобагаторічна якість води гирлової ділянки р. Ірпінь, розрахована за I_e показана на рис. 3.



Рис. 3. Динаміка змін I_e за результатами досліджень гирлової ділянки р. Ірпінь з 2006 по 2018 роки

Отримані результати свідчать, що ступінь чистоти вод досліджуваної ділянки р. Ірпінь відповідає III класу – забруднені води. За критерієм забруднення компонентами сольового складу екологічна оцінка якості вод характеризується 2 категорією (II класом). Найгірші показники трофо-сапробіологічного блоку за цим показником води досліджуваної ділянки р. Ірпінь належать до 4–5 категорії (III класу). Спостерігається тенденція до погіршення якості внаслідок перевищення допустимих концентрацій забруднюючих речовин: концентрація Cr^{6+} знаходиться в межах ($0,0037–0,01$ мг/дм³) при ГДК_{р/г} $0,001$ мг/дм³, азот амонійних сполук ($0,4–3,6$ мгN₂/дм³) при ГДК_{р/г} $0,39$ мгN₂/дм³, вище ГДК_{р/г} (15 мгO₂/дм³) знаходиться показник ХСК ($25,7–44$ мгO₂/дм³). За індексом якості специфічних показників токсичної дії води відповідають переважно 3-й категорії з наближенням до 4-ї.

За результатами екологічної оцінки, виконаної за ІЗВ, води досліджуваної ділянки р. Ірпінь характеризуються певними функціональними особливостями розвитку гідроекосистеми – від нестійкого рівня динамічної рівноваги – III клас якості вод (помірно-забруднені 18 % випадків), до порушення динамічної рівноваги гідроекосистеми – IV клас якості вод (забруднені 82 % випадків). У зв'язку з тим, що у р. Ірпінь переважає IV клас, мінімальний рівень забрудненості вод – III клас розглядається як потенційно можлива екологічна ситуація, пов'язана з нестабільним рівнем антропогенного навантаження.

Проблема якісного та кількісного оцінювання стану техногенно змінених водних екосистем тісно пов'язана з розробленням методологічних засад створення інтегральних систем індикаторів екологічного контролю. З цією метою автором розроблено інтегральну систему індикаторів, які дозволяють кількісно визначити дію техногенних чинників, стан водної екосистеми та її реакцію у вигляді трансформації в техногенно змінену водну екосистему (рис. 2).

Класифікація груп індикаторів виконується з урахуванням їх цільової спрямованості (рис. 1): індикатор дії (оцінка впливу техногенних чинників на об'єкт вивчення: індекс техногенного впливу, індекс пластичного метаболізму хімічних сполук), індикатор стану (стан середовища внаслідок техногенної дії: індекс балансу екологічної ємності, індекс техноємності), індикатор реагування (відгук гідроекосистеми на порушення сталого функціонування: критерій біотичної саморегуляції вод, індекс екологічного резерву) та відповідно до послідовного ряду особливостей розвитку і функціонування техногенно змінених водних екосистем (рис. 2).

Показники, що використовуються для розрахунку індексів, повинні включати гідрохімічні, гідрологічні, гідробіологічні, токсикологічні показники, які відображають особливості абіотичної та біотичної складових гідроекосистеми річки. До складу показників увійшли як загальноприйняті індекси, коефіцієнти, так і особисто розроблені.

Індикатор дії. Індекс пластичного метаболізму хімічних сполук антропогенного походження є показником механізму метаболічного регресу гідроекосистеми:

$$I_{\text{пл.мет}} = \sum_{i=n}^n [K_{\text{самооч}} \cdot (K_{\text{рбіом}} \cdot \frac{I}{\text{ХСК}} \cdot I_{\text{тех.впл}}) \cdot K_{\text{зміш}}], \quad (1)$$

де $K_{\text{рбіом}}$ – характеризує живучість гідробіоценозів за умов зміни середовища їх існування;

$I_{\text{тех.впл}}$ – індекс техногенного впливу;

$K_{\text{зміш}}$ – коефіцієнт змішування річкових і забруднених вод, беремо 0,8;

ХСК – хімічне споживання кисню, є кисневим еквівалентом загальної кількості органічних речовин у воді, $\text{мгО}_2/\text{дм}^3$;

$K_{\text{самооч}}$ – коефіцієнт самоочищення.

Відмічено, що внаслідок значного техногенного впливу, який виражається $I_{\text{тех.впл}}$, і за досліджуваний період (тринадцять років) знаходиться у межах 1,36–2,50, погіршується значення пластичного метаболізму хімічних сполук; $I_{\text{пл.мет}}$ відповідає значенню 0,32–0,81, що характерно для III–IV класу якості вод (табл. 3).

Індикатор стану. Відповідно до запропонованої класифікації індикаторів, екологічна ємність гідроекосистеми виступає частиною інтегрального показника відгуку водної екосистеми на екзогенні фактори антропогенного походження. Отже, екологічна ємність у певному значенні характеризує спроможність екосистеми здійснювати трансформацію, міграцію і накопичення речовин, залучених у

кругообіг. Виступає важливим критерієм збалансованого функціонування екосистеми, кількісно відповідає максимальному техногенному навантаженню, яке може витримувати впродовж тривалого періоду сукупність реципієнтів та екологічних систем водойми без порушення їх структурно-функціональних особливостей (рис. 5). Чітко окреслити об'єм та межі тиску техногенних чинників, які здатен витримати конкретний водний об'єкт, дозволяє формула:

$$I_{e.e} = \sum_{i=1}^n \left[Kp_{\text{біом}} + I_{\text{сам}} + \frac{(C_1 \cdot K_{\text{сам}} + C_2 \cdot K_{\text{сам}} \dots + C_n \cdot K_{\text{сам}})}{n} \right] \cdot K_{\text{зміш}}, \quad (2)$$

де $Kp_{\text{біом}}$ – критерій біомаси, який характеризує живучість гідробіоценозів за умов зміни середовища їх існування;

$I_{\text{сам}}$ – індекс самоочищення;

C_1, C_2, C_n – концентрація забруднюючих речовин;

n – кількість забруднюючих речовин, мгХ/дм³;

$K_{\text{самооч}}$ – сумарний коефіцієнт самоочищення вод від забруднюючої речовини;

$K_{\text{зміш}}$ – коефіцієнт змішування річкових та стічних вод, беремо 0,8.

Унаслідок порушення балансу екологічної ємності під дією інтенсивного впливу численних підприємств та сільських господарств, розміщених у басейні річки, починається процес формування техноємності в гідроекосистемах (рис. 4). Індекс техноємності характеризує кількість речовини, яка розсіюється у водному середовищі та з часом нейтралізується за рахунок екологічної ємності:

$$I_{т.е} = \frac{I_{e.e}}{I_{\text{тех.впл}}}, \quad (3)$$

де $I_{e.e}$ – екологічна ємність екосистеми;

$I_{\text{тех.впл}}$ – індекс техногенного впливу.

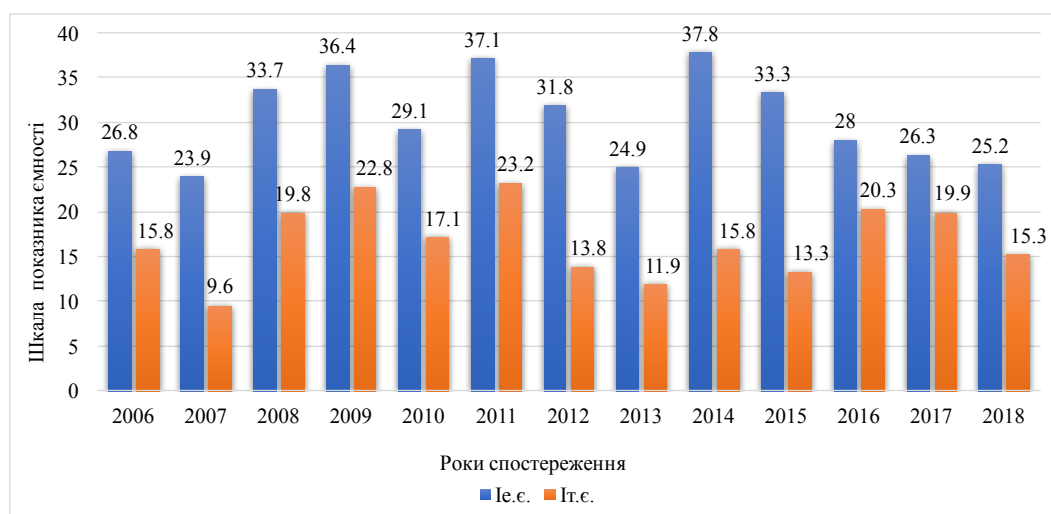


Рис. 4. Результати розрахунку індексів, що характеризують індикатор стану за період 2006–2018 рр.

З рис. 5 видно, що за останні роки значення $I_{e.e}$ зменшується, та знаходиться в межах 23,9–37,80. Отримані значення свідчать про перехід водної екосистеми від III до IV класу якості вод. Відмічена динаміка до зростання $I_{т.е}$ (9,6–22,8). Істотний вплив на це має зростаюче техногенне навантаження.

Індикатор реагування. Баланс між екологічною ємністю та техноємністю характеризує рівень екологічного резерву. Значення індексу екологічного резерву характеризує стійкість гідроекосистеми та можливий рівень відновлення функціонування техногенно зміненої водної екосистеми:

$$I_{ек.рез} = I_{e.e} - I_{т.е} , \quad (4)$$

де $I_{e.e}$ – індекс екологічної ємності екосистеми;

$I_{т.е}$ – індекс техноємності.

Індекс біотичної саморегуляції вод – інтегральний показник структурно-функціональних змін у водній екосистемі:

$$I_{б.с.в} = \sum_{i=n}^n \frac{I_{ек.рез} \cdot I_{пл.мет}}{v_{транс}} \cdot K_{зміш} , \quad (5)$$

де $I_{ек.рез}$ – індекс екологічного резерву;

$I_{пл.мет}$ – індекс пластичного метаболізму хімічних сполук;

$K_{зміш}$ – коефіцієнт змішування річкових і забруднених вод, значення якого залежить від розмірів річки, беремо 0,8;

$v_{транс}$ – швидкість трансформації забруднюючої речовини.

Рівень екологічного резерву знаходиться в межах 7,7–19,5 для досліджуваної ділянки р. Ірпінь. При цьому, спостерігається порушення структурно-функціональної організації гідроекосистеми, динамічна рівновага розвитку гідроекосистеми зміщується в бік найменшого техногенного впливу, гідробіоти реадaptуються до нових умов існування. Результатом змін є порушення здатності біоти до саморегуляції – $I_{б.с.в}$ та має значення 9,52–51,40. Таким чином, подальше збільшення техногенного впливу виведе гідроекосистему зі стану динамічної рівноваги.

Оскільки переважаючі класи якості вод гирлової ділянки р. Ірпінь за досліджений період з 2006 по 2018 рр. становили III та IV клас, відповідне узагальнення результатів розрахунку індексів наведено в табл. 3.

Результати проведених розрахунків (1) – (5) наведені в табл. 3, свідчать, що в екосистемі досліджуваної ділянки р. Ірпінь спостерігаються функціональні зміни, зниження значення загального екологічного індексу (рис. 4) унаслідок зростання індексу техногенного впливу. Відбувається порушення речовинно-енергетичного балансу, причиною якого, швидше за все, стало порушення динамічної рівноваги та зниження ефективності метаболізму хімічних сполук водною екосистемою р. Ірпінь.

Значення розрахованих індексів для переважаючих класів води р. Ірпінь

Індикатор	Індекс	III клас якості вод	IV клас якості вод
Дії	Техногенного впливу	$\frac{1,7-1,9}{1,8}^*$	$\frac{2,0-2,5}{2,25}$
	Механізму пластичного метаболізму	$\frac{0,36-1}{0,68}$	$\frac{0,24-0,36}{0,30}$
Стану	Екологічної ємності	$\frac{26,5-35,0}{30,75}$	$\frac{13,3-26,4}{19,85}$
	Техноємності	$\frac{15,0-18,0}{16,5}$	$\frac{6,7-7,12}{6,91}$
Реагування	Рівня екологічного резерву	$\frac{11,1-18,0}{14,55}$	$\frac{6,4-11,0}{8,7}$
	Біотичної саморегуляції вод	$\frac{19,5-51,4}{49,75}$	$\frac{6,0-19,4}{12,7}$

Примітка*: $\frac{\text{(мінімальне значення - максимальне значення)}}{\text{середнь статистичне значення}}$

Узагальнена оцінка змін за весь досліджуваний період дає підстави стверджувати, що відбулося зниження екологічної ємності, внаслідок понаднормативного техногенного впливу на річкову екосистему, що створює передумови для формування техноємності. Як наслідок, фіксується зниження рівня залишкового екологічного резерву, необхідного для відновлення техногенно зміненої водної екосистеми гирлової ділянки річки. За таких умов розвитку водної екосистеми рівень її екологічної безпеки є допустимим при III класі якості вод та помірно-допустимим при IV класі. Знижується біохімічна активність водної біоти відносно речовин забруднювачів, про що свідчить зниження значення індексу біотичної саморегуляції вод гирлової ділянки р. Ірпінь.

Отже, для забезпечення природно-техногенної безпеки розвитку гідроекосистеми оцінено основні параметри її функціонування за допомогою методичної бази інтегральних систем індикаторів екологічного контролю. Основою застосованої методики є тривимірна спрямованість кількісної характеристики структурно-функціональних порушень техногенно-змінених водних екосистем. Отримані дані можуть стати орієнтиром для визначення параметрів існування інших техногенно змінених гідроекосистем рівнинних територій малих та середніх річок. У даному дослідженні екологічна ємність уперше розглядається як індикаторний показник, що кількісно відображає техногенний вплив та порушення, які при цьому відбуваються в гідроекосистемі.

Зазначені дослідження дозволяють визначити особливості формування процесів, які пов'язані із зовнішнім дестабілізуючим впливом на гідроекосистеми (екзоризики) та призводять до змін їх властивостей. Застосування інтегральних

систем індикаторів дало змогу охарактеризувати інтенсивність внутрішньоводойменних процесів та встановити ризики розвитку техногенно зміненої водної екосистеми щодо часткової втрати екологічної ємності (якісне виснаження вод). Запропонований підхід дає можливість оцінити стан досліджуваної гідросистеми, здійснити кількісне оцінювання техногенних чинників та спрогнозувати наслідки їх впливу. Це дасть можливість у подальшому розробити систему природоохоронних заходів задля повернення техногенно змінених гідроекосистем до стану динамічної рівноваги.

У четвертому розділі виконано моделювання природних процесів самоочищення вод та прогноз основних екологічних параметрів функціонування гідроекосистеми досліджуваної ділянки р. Ірпінь, визначено особливості впливу температурного фактора на процеси пластичного метаболізму хімічних сполук.

Виконано моделювання динаміки змін концентрації лімітуючих показників за контрольними гідростворами, у напрямку до гирла річки (рис. 5). Опрацьовано результати посезонних змін забруднюючих речовин. За усередненими даними індивідуальних показників іонів важких металів прослідковується (Cu^{2+} , Zn^{+2} , Cr^{+6}) зниження їх концентрації у напрямку до гирла, що свідчить про процеси самоочищення річки, головним чином за рахунок осадження іонів токсичних металів у донних відкладах.

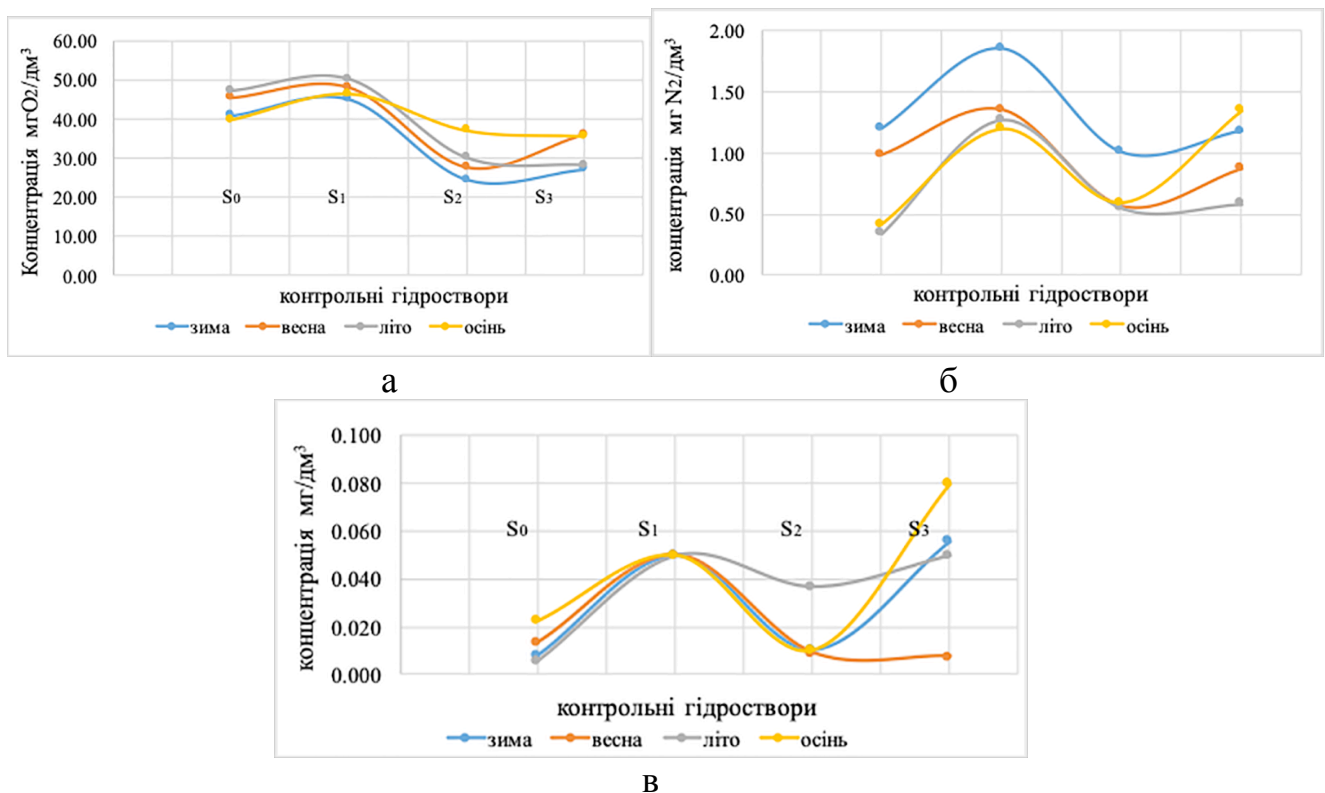


Рис. 5. Сезонні коливання концентрацій лімітуючих показників за течією річки у точках відбору проб гирлової ділянки р. Ірпінь: а – ХСК; б – NH_4^+ ; в – нафтопродукти

Для досліджених лімітуючих показників характерним є перевищення ГДК_{р/г} в усіх контрольних гідростворах, особливо в гідростворі S₁ (вплив забруднених вод

р. Нивки). Як видно з рис. 5, відмічене збільшення концентрацій лімітуючих показників і в гідростворі S_3 – безпосередньо в гирлі р. Ірпінь. Найбільший показник ХСК характерний для літнього та осіннього періодів, причиною цього є низька концентрація розчиненого у воді кисню.

Прогнозована величина речовинного балансу за ХСК, отримана на основі знайдених статистичних закономірностей, не перевищує $39,0 \text{ мгО}_2/\text{дм}^3$. Такий рівень ХСК відповідає максимально можливому рівню навантаження, коли спостерігається часткова трансформація інтенсивності внутрішньоводойменних процесів. З'ясовано, що перевищення $\text{ГДК}_{\text{р/г}}$ за ХСК знаходиться в межах 2,0–2,5, що узгоджується з показником метаболічного регресу стану водних екосистем. Тобто, можна стверджувати, що отримані результати знаходяться в межах параметрів екологічної ніші, характерної для IV клас якості вод.

У **п'ятому розділі** констатований факт погіршення екологічного стану досліджуваної ділянки техногенно зміненої водної екосистеми, підтверджений у попередніх розділах, потребує застосування компенсаційних водоохоронних заходів, які спрямовані на відновлення трансформованих гідроекосистем. Заходи мають бути реалізованими комплексно – за просторовим, технологічним і біологічним параметрами. З цією метою застосовано комплексну біоінженерну систему – біоплато (рис. 6) для відновлення порушеного екологічного стану та структурно-функціональної організації техногенно зміненої водної екосистеми (деклараційний патент України №117067).

Новизною запатентованої біоінженерної системи є поєднання природного берегового і штучного наплавного біоплато. Таке рішення дозволяє підвищити ефективність процесів очищення всіх складових гідроекосистеми річки та забезпечити їх екозбалансований розвиток на основі інтенсивного самовідновлення поверхневого, придонного шару води та донних відкладів. Поєднання в даній конструкції берегового та наплавного біоплато забезпечує здійснення комплексу заходів з очищення водойми при використанні біологічного (зокрема, поглинального) потенціалу занурених та повітряно-водних видів вищої водної рослинності.

Біоплато пропонується розміщувати на р. Нивці, у місці найінтенсивнішого надходження поллютантів (скид зворотних вод від підприємств цивільної авіації) в річкову мережу. Покращення екологічного стану р. Нивки сприятиме покращенню вод гирлової ділянки р. Ірпінь.

Специфікою запропонованого наплавного біоплато є направленість його дії на очищення придонного шару води (табл. 4) і особливо донних відкладів (табл. 5), що на думку автора підсилює функції берегового біоплато і підтверджує інноваційність розробленої технології.

Таблиця 4

Усереднені показники ефективності застосування біоінженерної системи за аналізом проб води

Показник	До застосування біоінженерної конструкції	Після застосування біоінженерної конструкції	Очищення, %	ГДК _{р/г}
БСК ₅ , мгО ₂ /дм ³	5,02	3,66	27,0	2,24
ХСК, мгО ₂ /дм ³	27,20	19,25	29,3	20,0
NH ₄ ⁺ , мгN ₂ /дм ³	1,88	0,50	73,4	0,39
NO ₂ ⁻ , мгN ₂ /дм ³	0,06	0,02	69,3	0,02
NO ₃ ⁻ , мгN ₂ /дм ³	4,96	3,34	33,0	9,1
Cu ²⁺ , мг/дм ³	1,47	0,09	93,8	0,001
Zn ²⁺ , мг/дм ³	1,04	0,06	94,2	0,01
Нафтопродукти, мг/дм ³	1,65	0,35	78,8	0,05
Токсичність (Daphnia magna S.), %	Хронічна токсичність	Токсичність відсутня	Токсичність відсутня	Токсичність відсутня

Таблиця 5

Усереднені показники ефективності застосування біоінженерної системи за аналізом донних відкладів

Показник	Фізико-хімічні показники якості вод р. Нивки		
	до застосування біоплато	після застосування біоплато	Очищення, %
Нафтопродукти, мг/дм ³	19,80	16,50	17
Cu ²⁺ , мг/ дм ³	0,30	0,23	24
Zn ²⁺ , мг/ дм ³	0,86	0,67	22
Cr ⁶⁺ , мг/дм ³	0,086	0,071	18
Токсичність (Daphnia magna S.), %	Хронічна токсичність	Токсичність відсутня	Токсичність відсутня

Наплавне біоплато складається з блоків (рис. 6), виготовлених із синтетичного, інертного, нетоксичного, водонепроникного матеріалу з патрубками для посадки рослин. Така блочна система дозволяє комбінувати різну кількість відповідних блоків як за шириною, так і довжиною русла, залежно від поставлених завдань очищення. Наплавне біоплато рекомендується розміщувати на розширеннях русла річки, для покриття більшої площі водного дзеркала.

Необхідну кількість блоків біоплато регулюють залежно від рівня забруднення вод та необхідних кінцевих результатів ступеня очищення. Довжину біоплато розраховують за формулою:

$$L = \sqrt{\frac{v}{f_{\text{ХСК}}} \left(\frac{C_{\text{ХСК}}^0 - C_{\text{ХСК}}^l}{C_{\text{ХСК}}^{\text{ГДК}}} \right)}, \quad (6)$$

де v – швидкість течії річки, м/с;

$f_{\text{ХСК}}$ – коефіцієнт очищувальної здатності біоплато, $\text{гО}_2/\text{м}^3\text{с}$;

$C_{\text{ХСК}}^0$ – величина показника хімічного споживання кисню річкових вод до біоплато, $\text{мгО}_2/\text{дм}^3$;

$C_{\text{ХСК}}^l$ – величина показника хімічного споживання кисню річкових вод після біоплато, $\text{мгО}_2/\text{дм}^3$;

$C_{\text{ХСК}}^{\text{ГДК}}$ – гранично допустима концентрація показника хімічного споживання кисню, $\text{мгО}_2/\text{дм}^3$.

Як біотичний компонент використовували: рдесник кучерявий (*Potamogeton crispus* L.), рдесник пронизанолистий (*Potamogeton perfoliatus* L.). Ці рослини є типовими представниками даної кліматичної зони, мають здатність поглинати та переробляти полютанти, зокрема сполуки токсичних металів, акумулювати токсичні речовини, рости у водоймах з малою швидкістю течії.

Пілотна установка біоінженерної системи апробована в реальних умовах на малій р. Нивці, для попередження надходження забруднених вод до р. Ірпінь (рис. 6).

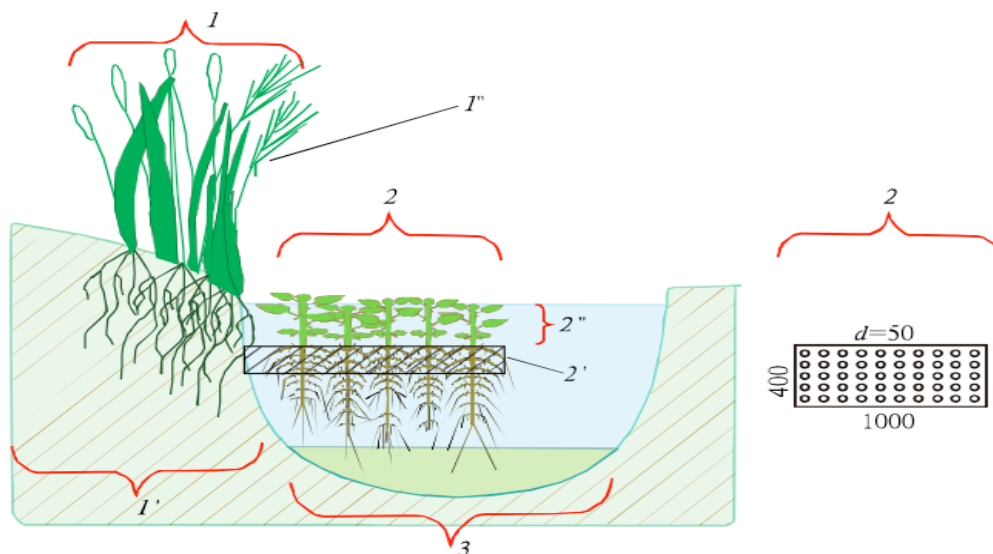


Рис. 6. Конструктивна схема комплексної інженерної біосистеми – біоплато:

1 – берегове біоплато; 1' – прибережна зона; 1'' – рослини гідрофітів; 2 – наплавне біоплато; 2' – решітка із синтетичного матеріалу з патрубками для рослин гідрофітів; 2'' – занурені у товщу води частини рослин; 3 – дно річки

Конструктивна особливість споруди дозволяє збільшити масу біотичного компонента і потоки її розподілу в товщі води, забезпечує іммобілізацію мікроорганізмів-деструкторів на поверхні кореневої системи рослин, що позитивно позначається на процесах самоочищення різних горизонтів русла річки, забезпечує

міграцію мікроорганізмів-деструкторів по руслу, що покращує екологічний стан річки.

Лабораторні експерименти та апробація пілотної установки розробленої конструкції в натурних умовах на р. Нивці в районі мікрорайону Борщагівка в 2016 р. підтвердили позитивний ефект відновлення якості вод (табл. 4). Отримані результати свідчать, що відбуваються позитивні гідрохімічні перетворення стану водної екосистеми р. Нивки. Конструкція забезпечує ступінь очищення за БСК₅, ХСК близько 30 %, за йонами важких металів більше 90 %, за азотовмісними сполуками від 33 % до 73 %. Такий ефект сприятиме покращенню самовідновлювальної здатності гідроекосистеми, відновленню саморегуляції і, як наслідок, покращить екологічну ситуацію гирлової ділянки р. Ірпінь.

ВИСНОВКИ

У дисертаційному дослідженні обґрунтовано та розв'язано актуальне науково-практичне завдання зі створення нових методичних засад для комплексного оцінювання та покращення екологічного стану техногенно зміненої водної екосистеми гирлової ділянки р. Ірпінь, шляхом упровадження нових інтегральних систем індикаторів та комплексної біоінженерної конструкції біоплато. Отримані результати дозволили зробити такі висновки:

1. Методологічною основою дослідження техногенно зміненої водної екосистеми гирлової ділянки середньої р. Ірпінь запропоновано екосистемний підхід з використанням концептуальної моделі системи річок, яка характеризується всіма ієрархічними рівнями екосистеми. У результаті досліджень встановлено основні джерела та шляхи погіршення екологічного стану досліджуваної ділянки р. Ірпінь. Встановлено, що техногенно змінена водна екосистема є відносно стабільною системою в межах III–IV класів якості вод.

2. Проведено та узагальнено дослідження фізико-хімічного складу води гирлової ділянки р. Ірпінь за 22 показниками у чотирьох контрольних створах у межах досліджуваної ділянки довжиною 45 км (близько 1000 показників). Проведено комплексне оцінювання якості води за індексом забрудненості води (ІЗВ), екологічне оцінювання якості води за I_e . Доведено, що середньобагаторічна якість води гирлової ділянки р. Ірпінь класифікується як «забруднена» та «брудна». Причиною погіршення стану річки є понаднормативний вміст в її водах: NH_4^+ (2,24–6 ГДК_{p/r}), NO_2^- (2,4–11 ГДК_{p/r}), Cu^{2+} , Zn^{2+} , Cr^{6+} (2–13 ГДК_{p/r}). Вивчено динаміку змін індивідуальних та сумарних показників, які впливають на самовідновлювальні процеси в екосистемах та є передумовами їх трансформації. Встановлено сезонні закономірності зміни здатності до самоочищення залежно від пори року та температурних характеристик.

3. Розроблено методологію створення інтегральних систем індикаторів екологічного контролю та визначено якісні та кількісні зміни структурно-функціональних особливостей виникнення та розвитку техногенно змінених водних екосистем. Визначено тиск техногенних чинників на водний об'єкт: індекс техногенного впливу III клас – (1,7–1,9), для IV класу – (2,0–2,5); зміну механізму пластичного метаболізму III клас – (0,36–1,0), IV клас – (0,24–0,36); стан гідроекосистеми внаслідок зміни екологічної ситуації в ній, фундаментальний

показник функціонування екосистеми – екологічна ємність III клас – (26,5–35,0); для IV класу – (13,3–26,4); утворення техноємності – III клас (15,0–18,0); IV клас – (6,7–7,12); реагування гідроекосистеми на порушення сталого функціонування (індекс біотичної саморегуляції вод III клас – 25,0–27,0; для IV класу – 6,0–17,0; збереження балансу екологічного резерву III клас – 11,7–17,0; для IV класу – 6,6–10,8). Рівень екологічної безпеки техногенно-зміненої водної екосистеми визначається як допустимий (за умови III класу якості вод) та помірно-допустимий (за умови IV класу).

4. На основі аналізу, систематизації та формалізації даних екологічного стану гідроекосистеми річок встановлено, що фундаментальна основа їх розвитку пов'язана з екологічною ємністю. Зниження екологічної ємності приводить до скорочення рівня екологічного резерву III клас – (11,1–18,0); для IV класу – (6,4–1,0), а також зниження рівня біотичної саморегуляції III клас – (19,5–80,0); для IV класу – (6,0–19,4). Кількісно оцінено втрати екологічної ємності – основного параметра функціонування гідроекосистеми водойми. Проаналізовано результати тринадцятирічної динаміки змін індикаторів стану та реагування і засвідчено, що екологічна ємність змінюється в межах 37,8→23,9, техноємність 23,2→9,6, екологічний резерв 19,98→6,38.

5. Запропоновано та обґрунтовано заходи для підвищення рівня екологічної безпеки техногенно змінених водних екосистем. Доведено ефективність застосування комплексної біоінженерної системи, до складу якої входить природне берегове та штучне наплавне біоплато, для очищення поверхневих вод та донних відкладів. Запропонована конструкція біоплато зменшує показники перевищення ГДК_{р/г} у воді за нафтопродуктами (93,8 %) та сполуками важких металів Cu²⁺ (94,2 %), Zn²⁺ (78,8 %). Про зниження рівня забруднення свідчить зменшення концентрації ХСК на 29,3%, та БСК₅ на 27%. Концентрація сполук токсичних металів у донних відкладах зменшується для Cu²⁺ на 23 %, для Zn²⁺ на 51,6 %, для Cr⁶⁺ на 29 % за рахунок біоаккумуляції рослинними угрупованнями наплавного біоплато. Насиченість води розчиненим киснем збільшується на 23 %. Покращується клас якості води з V до IV класу на ділянці р. Нивки після встановлення пілотної установки. Отримані результати впровадження біоплато свідчать про позитивні екологічні зміни в гідроекосистемі р. Нивки і, як наслідок, у техногенно зміненої водній екосистемі досліджуваної ділянки р. Ірпінь.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Монографії

1. Міхеєв О.М., Маджд С.М., Лапань О.В., Кулинич Я.І. Використання гідрофітних систем для відновлення якості забруднених вод: монографія. К.: Центр учбової літератури, 2018. 171 с.

Публікації у фахових виданнях, що входять до наукометричних баз даних:

2. Удод В.М., Маджд С.М., Кулинич Я.І. Дослідження причин та наслідків трансформації техногенно змінених водних систем Наукові праці: наук. Журнал Чорном. нац. ун-т ім. Петра Могили. 2017. Т. 289. № 277. С. 10–17.

3. Madzhd S.M., Kulynych Ya.I., Iavniyk A.A. Ecological assessment of the human-transformed system of the Irpin river. Proceeding of the National Aviation Univesity.

2017. no. 2, pp. 93–98.

4. Удод В.М. Маджд С.М., **Кулинич Я.І.** Регіональні особливості структурно-функціональної організації розвитку техногенно змінених водних екосистем. Вісник КрНУ ім. Михайла Остроградського. 2017. № 3. С. 93–99.

5. Маджд С. М., **Кулинич Я.І.** Наукова методологія оцінювання екологонебезпечних ризиків функціонування техногенно-змінених водних екосистем. Вісник КрНУ ім. Михайла Остроградського. 2017. №4. С. 88–95.

6. **Писанко Я.І.** Екологічне прогнозування стану розвитку техногенно-зміненої гирлової ділянки річки Ірпінь. Вісник КрНУ ім. Михайла Остроградського. 2018. № 4. С. 109–114.

7. Madzhd S., **Pysanko Ya.** The study of technogenically transformed water ecosystems within aviation facilities operation area. Proceeding of the National Aviation University. 2018. no. 3(76), pp. 78–86.

8. Maksimenko O., Pancheva H., Madzhd S., **Pysanko Y.** et. al. Examining the efficiency of electrochemical purification of storm wastewater at machine-building enterprises. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2018. vol. 6/10. no. 96, pp. 21–27 (входить до переліку міжнародної науково-метричної бази даних “Scopus”).

9. Isayenko V., Madzhd S., **Pysanko Y.**, Nikolaiev K. et. al. Development of a procedure for determinating the basic parameter of aquatic ecosystems functioning – environmental capacity. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2019. 1/10 (97). pp. 21–28 (входить до переліку міжнародної науково-метричної бази даних “Scopus”).

Публікації у закордонних наукових періодичних виданнях:

10. Міхуєєв О. М, Udod V.M., Madzhd S. M., Lapan O.V., **Kulynych Ya.** Increasing of natural subsystems bufferness to minimize anthropogenic pressure on hydrological ecosystems. East European Scientific Journal. 2016. no. 9 (13) part 1. pp.10–13.

11. **Pysanko Y.**, Madzhd S. Assessment of the ecological status of small rivers in urban areas. USEFUL online journal. 2018. vol. 2. no. 4. pp. 56–62. DOI: <https://doi.org/10.32557/useful-2-4-2018-0006>

Матеріали і тези доповідей на науково-практичних конференціях

12. **Кулинич Я.І.** Біологічна оптимізація екобалансованого розвитку гідроекосистем малих річок за допомогою комплексної біоінженерної споруди. Проблеми екологічної безпеки: матеріали XIV Міжн. наук.–техн. конф. (Кременчук, 12–14 жовтня 2016). Кременчук, 2016. С.65.

13. Маджд С.М., **Кулинич Я.І.** Механизм биотической саморегуляции техногенно измененных водных систем: матер. VI Межд. науч.–практ. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых, приуроченая к проведению Года экологии в России. (Брянск, 26–28 апреля 2017). Брянск: БГИТУ, 2017. С. 218–221.

14. Маджд С.М., **Кулинич Я.І.** Динаміка змін знаходження речовин та елементів техногенного походження у водах р. Ірпінь. Проблеми хімотології: матеріали VI Міжн. наук.–техн. конф., (Львівська обл., 19–23 червня 2017). Київ – Львівська обл., 2017. С. 401–404.

15. **Кулинич Я.І.** Екологічна характеристика біотичних угруповань водних систем у забезпеченні їх екобезпечного розвитку. Екологічна безпека держави:

матер. X Всеукр. наук.–практ. конф. молодих учених та студентів (Київ, 21 квітня 2016). К.: НАУ, 2016. С. 184–185.

16. **Кулинич Я.І.** Методика оцінки структурно функціональних змін водних екосистем при техногенному навантаженні. Екологічна безпека держави: матер. XI Всеукр. наук.–практ. конф. молодих учених та студентів (Київ, 20 квітня 2017). К.: НАУ, 2017. С.179–180.

17. **Кулинич Я.І.** Техногенний вплив діяльності авіапідприємств на екологічний стан р. Нивки. ПОЛІТ: Екологічна безпека: матеріали XVII Міжнар. наук.–практ. конф. молодих учених і студентів. (Київ, 4–7 квітня 2017). К.: НАУ, 2017. С. 64.

18. **Kulynych Ya.** Environmental assessment of the Irpin River. Build-master-class-2016: International scientific-practical conference of young scientists (Kyiv, 16–18 November 2016). К.: KNUCA, 2016. p.164.

19. **Кулинич Я.І.** Апроксимація водного законодавства України до законодавства Європейського союзу. «Екологічна безпека держави»: матеріали XII Всеукр. наук.–практ. конф. молодих учених та студентів (Київ, 19 квітня 2018). К.: НАУ, 2018. С.171.

20. **Кулинич Я.І.** Оцінка екологічної ємності природних водойм в умовах надмірного антропогенного навантаження. Pure water. Fundamental, applied and industrial aspects: Proceeding of the V International Scientific and Technical Conference (Kyiv, 26–27 October 2017). К.: 2017, p.147–148.

21. **Кулинич Я.І.** Конструкція біоплато зануреного типу для очищення малих річок. Біотехнологія XXI століття: матеріали XII Всеукр. наук.–практ. конф., присвяч. 100-річчю з дня народж. Артура Корнберга (Київ, 20 квітня 2018 р). К.: 2018, С. 112.

22. Комплексна біоінженерна система для очищення водойм: Пат. 117067 UA, МПК СО2F 3/32 (2006.01), E02B 15/00 (2006.01), № u 201700555; заяв. 20.01.2017; опубл. 12.06.2017, Бюл. № 11, 2017 р.

23. Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір №67248 Сучасна методологія оцінки структурно-функціональних змін водних екосистем річок, внаслідок постійно діючого техногенного навантаження / В.М. Удод, О.М. Міхеєв, С.М. Маджд, **Я.І. Кулинич** // Дата реєстрації Державної служби інтелектуальної власності України – 15.08.2016р., опуб. 12.06.2017, бюл. №11.

АНОТАЦІЯ

Писанко Я.І. Особливості структурно-функціональної організації техногенно зміненої водної екосистеми гирлової ділянки річки Ірпінь. Кваліфікаційна праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 21.06.01 “Екологічна безпека”. – Національний авіаційний університет, Київ, 2019.

У дисертації наведено розв’язання актуального науково-практичного завдання з дослідження та покращення екологічного стану техногенно зміненої водної екосистеми середньої річки.

Подано власні результати моніторингу гідроекосистеми гирлової ділянки р. Ірпінь за 2016–2018 рр., систематизовано та формалізовано моніторингові дані

державних установ 2006–2018 рр. Сформовано ретроспективну базу даних кількісного та якісного стану досліджуваної гирлової ділянки техногенно зміненої водної екосистеми з більше ніж 1000 показників. Показано зміну концентрацій забруднюючих речовин у потоці р. Ірпінь у напрямку до гирла. З'ясовано причини та наслідки погіршення стану досліджуваної гідроекосистеми.

Для дослідження техногенно зміненої водної екосистеми застосовано інтегральну систему індикаторів екологічного контролю. Особливістю системи індикаторів є тривимірна спрямованість кількісної характеристики структурно-функціональних порушень техногенно змінених водних екосистем. З їх допомогою можливо кількісно визначити дію техногенних чинників на гідроекосистему, її стан та реакцію у відповідності до особливостей розвитку та функціонування техногенно змінених водних екосистем. Застосування інтегральних систем індикаторів дозволило дослідити та кількісно оцінити основний параметр функціонування гідроекосистем – екологічну ємність.

Отримані результати є орієнтиром для створення водоохоронних заходів направлених на покращення особливостей структурно-функціональної організації гирлової ділянки техногенно зміненої р. Ірпінь. Розроблена комплексна біоінженерна споруда – направлена на відновлення порушених структурно-функціональних характеристик техногенно трансформованих гідроекосистем малих та середніх річок. В ній поєднано природне берегове біоплато та модифіковану конструкцію штучного наплавного біоплато. Особливістю розробленої споруди є здатність очищати не лише поверхневий шар води, а й придонний шар води та донні відклади, що дозволяє попередити вторинне забруднення та покращити саморегуляцію водойми.

Застосування біоплато покращує екологічний стан гідроекосистеми річки, а розроблена інтегральна система індикаторів екологічного контролю дозволяє відстежити динаміку структурно-функціональних змін водної екосистеми на локальному рівні.

Ключові слова: техногенний вплив, водна екосистема, забруднюючі речовини, екологічні індикатори контролю, біоплато, екологічна ємність, річка Ірпінь.

ANNOTATION

Pysanko Ya. Features of the structural and functional organization of technogenically modified water ecosystem of the mouth of the Irpin river. Skilled work on the rights of manuscripts.

Qualification scientific work as a manuscript.

The thesis for the degree of candidate of technical sciences, specialty 21.06.01 – ecological safety. – National Aviation University, Kyiv, 2019. Specialized Academic Council D 26.062.09

The dissertation presents the solution of the actual scientific and practical problem of research and improvement of the ecological state of technogenically altered aquatic ecosystem of the medium river.

The personal monitoring the hydro ecological system of the mouth reach of the Irpin river during 2016–2018 was performed, the monitoring data of the state institutions for the years 2006–2018 were systematized and formalized. A retrospective database of

quantitative and qualitative condition of the studied mouth reach of technogenically altered aquatic ecosystem with more than 1000 indicators was formed. The change in concentrations of pollutants in the Irpin river flow towards the mouth is shown. The causes and consequences of degradation of the studied hydro ecological system were clarified.

For the research of technogenically altered aquatic ecosystem is used the integrated system of environmental control indicators. A feature of the system of indicators is the three-dimensional orientation of the quantitative characteristics of structural and functional disorders of technogenically altered aquatic ecosystems. With their help, it is possible to quantify the effect of anthropogenic factors on the hydro ecological system, its condition and reaction, in accordance with the peculiarities of the development and functioning of technogenically altered aquatic ecosystems. The application of integrated systems of indicators allowed to investigate and quantify the main parameter of the functioning of the hydro ecological systems -environmental capacity.

The obtained results provide the direction for the creation of water protection measures to improve the structural and functional organization of the mouth reach of the technogenically modified Irpin river. To this end, a comprehensive engineered building was developed – its operation is aimed at restoration of disturbed structural-functional characteristics of technogenic transformed hydro ecological system of small and medium-sized rivers. It is based on the combination of natural coastal vegetation and a modified design of artificial floating constructed wetland.

The use of the constructed wetland improves the ecological condition of the river hydro ecological system, and developed integrated systems of indicators of ecological control allows to monitor the dynamics of structural and functional changes of aquatic ecosystems at the local level.

Keywords: technogenic impact, aquatic ecosystems, pollutions, ecological indicators of control, constructed wetland, ecological capacity, Irpin river.