

МІНІСТЕРСТВО ЕКОЛОГІЇ ТА ПРИРОДНИХ РЕСУРСІВ УКРАЇНИ  
ДЕРЖАВНА ЕКОЛОГІЧНА АКАДЕМІЯ ПІСЛЯДИПЛОМНОЇ ОСВІТИ ТА  
УПРАВЛІННЯ

**МАДЖД СВІТЛАНА МИХАЙЛІВНА**

УДК 502.13:502.171:556(043.3)

**РОЗВИТОК НАУКОВИХ ОСНОВ  
БАСЕЙНОВОГО ПРИНЦИПУ УПРАВЛІННЯ ЕКОЛОГІЧНОЮ БЕЗПЕКОЮ  
ТЕХНОГЕННО ТРАНСФОРМОВАНИХ ПОВЕРХНЕВИХ  
ВОДНИХ ОБ'ЄКТІВ**

Спеціальність 21.06.01 – екологічна безпека

**АВТОРЕФЕРАТ**  
дисертації на здобуття наукового ступеня  
доктора технічних наук

Київ – 2019

Дисертація є рукописом.

Робота виконана на кафедрі екології Національного авіаційного університету Міністерства освіти і науки України.

**Науковий консультант:** доктор біологічних наук, професор  
**Ісаєнко Володимир Миколайович**,  
Національний авіаційний університет  
МОН України,  
ректор університету

**Офіційні опоненти:** доктор технічних наук, професор  
**Шмандій Володимир Михайлович**,  
Кременчуцький національний університет  
імені Михайла Остроградського МОН України,  
завідувач кафедри екологічної безпеки та  
організації природокористування

доктор технічних наук, професор  
**Петрук Василь Григорович**,  
Вінницький національний технічний  
університет МОН України,  
директор Інституту екологічної безпеки  
та моніторингу довкілля

доктор технічних наук, професор  
**Павличенко Артем Володимирович**,  
Національний технічний університет  
«Дніпровська політехніка» МОН України,  
завідувач кафедри екології та технологій  
захисту навколишнього середовища

Захист дисертації відбудеться 13 червня 2019 р. о 14:00 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 26.880.01 у Державній екологічній академії післядипломної освіти та управління за адресою: вул. Митрополита Василя Липківського, 35, корп. 2, м. Київ, Україна, 03035.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Державної екологічної академії післядипломної освіти та управління за адресою: вул. Митрополита Василя Липківського, 35, корп. 2, м. Київ, Україна, 03035 та на сайті [www.dea.edu.ua](http://www.dea.edu.ua).

Автореферат розісланий 11 травня 2019 року.

Вчений секретар спеціалізованої  
вченої ради Д 26.880.01



Іващенко Т. Г.

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність роботи.** Розвиток промислового виробництва призвів до того, що адміністративно-територіальний принцип управління водними об'єктами в Україні не спроможний забезпечувати запобігання наслідків негативного техногенного впливу на екологічний стан поверхневих водних об'єктів. Нині в країні вже фіксуються не локальні (регіональні), а басейнові (адміністративно-державні) порушення екологічних характеристик стану водних об'єктів, які зумовлені негативними наслідками діяльності промислових підприємств. Екологічний стан річкових басейнів України на 61 % не відповідає чинним санітарно-гігієнічним нормативам і в них відбуваються процеси формування техногенних перетворень. Техногенно трансформовані водні екосистеми (ТТВЕ) – структурно-функціонально змінені поверхневі водні об'єкти, які сформувалися внаслідок прямих або опосередкованих техногенних впливів, під дією чинників зовнішніх і внутрішніх процесів та втратили здатність до самовідновлення. Такі поверхневі водні об'єкти вже не спроможні чинити опір процесу формування техногенних трансформацій, оскільки за рахунок зниження інтенсивності механізму біотичної саморегуляції в них втрачено стійкість до дії техногенних чинників і вони потребують втручання людини для забезпечення еколого-збалансованого функціонування в нових техногенно трансформованих умовах.

Серед дев'яти річкових басейнів України найбільш техногенно трансформованим є басейн р. Дніпра, оскільки у басейновому розрізі найбільша кількість недостатньо очищених зворотних вод надходить саме до нього – 802 млн. м<sup>3</sup>/рік. Внаслідок чого екологічний стан цього басейну характеризується як критичний і потребує впровадження удосконаленого інтегрованого басейнового принципу управління екологічною безпекою.

Вирішенням проблем екологічної безпеки водних ресурсів займалися такі вчені як: Архипова Л. М., Білявський Г.О., Бондар О. І., Гриб Й. В., Дмитриков В. П., Ісаєнко В. М., Осадчий В. І., Павличенко А. В., Петрук В. Г., Удод В. М., Улицький О. А., Шмандій В. М., Шматков Г. Г., Яцик А. В. та інші. Визначенням оцінки екологічного стану водних екосистем, в зоні впливу техногенних об'єктів займалися Міхеєв О. М., Пічура В. І. Протасов О. О. та інші. Дослідженням екологічного стану басейну Дніпра присвячені праці: Романенка В. Д., Александрової Н. Г., Афанасьєвої С. О. Будкіної Л. Г., Данильченка О. С., Линника П. М., Лисецького Ф. М., Пилипенко Ю. В. та інших.

Слід зазначити, що незважаючи на їх вагомий внесок проблема зниження негативних наслідків техногенного впливу на екологічний стан районів річкових басейнів залишається актуальною. Розвиток наукових основ управління екологічною безпекою поверхневих водних об'єктів за басейновим принципом, які враховують закономірності впливу чинників на процес формування їх техногенно трансформованого стану та інтенсивність компенсаційного механізму біотичного саморегулювання, є підґрунтям створення передумов зниження негативних наслідків техногенного впливу на екологічний стан поверхневих водних об'єктів та на якість водних ресурсів в районах річкових басейнів.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Дисертаційне дослідження виконувалось відповідно до міжнародної програми ООН з довкілля – UNEP (United Nations Environment Program) з урахуванням положень Водної Рамкової Директиви Європейського союзу, а також Законів України: «Про внесення змін до деяких законодавчих актів України щодо впровадження інтегрованих підходів в управлінні водними ресурсами за басейновим принципом» від 04.10.2016 р. №1641-VIII; «Про Загальнодержавну програму «Питна вода України» на 2006–2020 роки» від 03.03.2005 р. №2455-IV; «Про основні засади державної екологічної політики України до 2020 року» від 21.12.2010 р. №2818-VI; «Про затвердження Загальнодержавної цільової програми розвитку водного господарства та екологічного оздоровлення басейну р. Дніпра на період до 2021 року» від 18.05.2017 р. №336; у рамках виконання науково-дослідних робіт у Національному авіаційному університеті МОН України: «Екотоксикологічна оцінка водних об'єктів мегаполісу на прикладі м. Києва» (№ ДР 0117U002372) та «Застосування методики інтегральних систем індикаторів для оцінки стану техноприродних гідроекосистем» (№ ДР 0118U004286), у яких здобувач була відповідальним виконавцем та науковим керівником відповідно.

#### **Мета і завдання дослідження**

**Мета роботи** – розвиток наукових основ управління екологічною безпекою поверхневих водних об'єктів за басейновим принципом, які враховують закономірності впливу чинників на процес формування їх техногенно трансформованого стану та інтенсивність компенсаційного механізму біотичного саморегулювання.

Для досягнення поставленої мети визначено та поставлено до вирішення такі **завдання** досліджень:

- проаналізувати основні причини та наслідки техногенного впливу на екологічний стан поверхневих водних об'єктів та виявити шляхи зниження його негативних наслідків;
- обґрунтувати методи і методики проведення теоретичних та експериментальних досліджень, а також методологію впровадження інтегрованого підходу в систему управління екологічною безпекою водних ресурсами за басейновим принципом;
- провести дослідження механізмів змін та трансформації речовинно-енергетичного балансу на різних ділянках басейну р. Дніпра, проаналізувати причини і наслідки цих змін та створити відповідну геоінформаційну базу даних;
- спрогнозувати динаміку просторово-часових змін екологічного стану поверхневих водних об'єктів на прикладі ділянки басейну р. Дніпра;
- провести дослідження процесів відновлення самоочисної здатності поверхневих водних об'єктів в умовах техногенних впливів та закономірностей функціонування цих процесів;
- обґрунтувати перелік індикаторів екологічності, спроможних у сукупності відслідковувати структурно-функціональні зміни внутрішньоводоймних процесів та з їх застосуванням розробити систему управління екологічною безпекою поверхневих водних об'єктів;
- обґрунтувати параметри та схемне рішення, створити і апробувати

біоінженерну систему інтенсифікації компенсаційного механізму біотичної саморегуляції;

– розробити, апробувати та впровадити систему керування процесами самоочищення техногенно трансформованих басейнів річок.

*Об'єкт дослідження* – процес формування техногенно трансформованого стану поверхневих водних об'єктів та системи управління їх екологічною безпекою.

*Предмет дослідження* – взаємозв'язки та взаємодії чинників впливу на процес формування техногенно трансформованого стану поверхневих водних об'єктів та ефективність системи управління їх екологічною безпекою.

**Ідея роботи** полягає у зниженні негативних наслідків техногенного впливу на екологічний стан річкових басейнів шляхом застосування удосконаленого басейнового принципу управління їх екологічною безпекою на підґрунті наукових основ, які враховують закономірності впливу чинників на процес формування їх техногенно трансформованого стану та інтенсивність компенсаційного механізму біотичного саморегулювання.

**Методи дослідження.** У роботі використано комплексний системний підхід, який включав як теоретичні, так і експериментальні методи. Серед теоретичних методів застосовано: інтерпретації отриманих результатів; статистично-математичний для оброблення експериментальних даних та узагальнення отриманих результатів, математичного моделювання, математичного прогнозування та гідроаналітичний. Для встановлення причин порушення екологічної рівноваги і втрати самоочисної здатності водними об'єктів в лабораторних умовах застосовано такі експериментальні методи: гідрохімічні, гідробіологічні, фізико-хімічні та токсикологічні. Під час експериментальних досліджень зі встановлення здатності макрофітів проростати в наплавному блоці біоінженерної системи без укорінення в польових умовах було застосовано метод спостереження, як елемента системи керування екологічною безпекою поверхневого водного об'єкта.

**Наукова новизна одержаних результатів** полягає у розвитку наукових основ управління екологічною безпекою поверхневих водних об'єктів за басейновим принципом, які враховують закономірності впливу чинників на процес формування їх техногенно трансформованого стану та інтенсивність компенсаційного механізму біотичного саморегулювання. При цьому:

***уперше***

– розроблено науково-методологічні основи інтегрованого підходу в системі басейнового принципу управління екологічною безпекою техногенно трансформованих поверхневих водних об'єктів, який на відміну від відомих, ураховує ієрархічні рівні їх організації, що створює передумови зниження негативних наслідків техногенного впливу на якість водних ресурсів у районах річкових басейнів;

– запропоновано наукові основи відновлення інтенсивності компенсаційного механізму біотичної саморегуляції та науково обґрунтовано, що основною причиною техногенних трансформацій поверхневих водних об'єктів різних ієрархічних рівнів є порушення когерентної взаємодії між біотичною та абіотичною складовими, що призводить до зниження інтенсивності компенсаційного механізму їх біотичної саморегуляції;

– доведено, що застосування в системі управління екологічною безпекою поверхневих водних об'єктів індикаторів (контролю «Дія», «Стан», «Реагування»; екологічної відповідності структурно-функціональних можливостей; втрат (незворотності) процесу самоочищення; стійкості; ризику розвитку техногенних трансформацій) забезпечує об'єктивне відслідковування структурно-функціональних змін внутрішньоводоймних процесів, що є науковим підґрунтям прийняття управлінських рішень із забезпечення екологічної безпеки поверхневих водних об'єктів;

– обґрунтовано схемні рішення та параметри біоінженерної системи, скомбінованої з двох складових блоків – берегового і наплавного, застосування якої дозволяє одночасно очищувати всю товщу водного середовища з інтенсифікацією компенсаційного механізму біотичної саморегуляції поверхневих водних об'єктів;

– встановлено, що техногенні трансформації у поверхневих водних об'єктах нівелюються за рахунок дії компенсаційного механізму біотичної саморегуляції в результаті адаптації біотичних складових до свого нового зміненого середовища існування, що дозволяє удосконалити форми управління екологічною безпекою поверхневих водних об'єктів;

***удосконалено:***

– класифікацію груп понять екологічної безпеки, яку на відміну від існуючих, доповнено структурно-функціональними показниками водних об'єктів та їх максимально допустимих параметрів, що дозволило запропонувати інтегровану індикаторну кількісну шкалу величин-градацій оцінки стану поверхневих водних об'єктів;

– систему басейнового принципу управління екологічною безпекою техногенно трансформованих поверхневих водних об'єктів, яка на відміну від існуючих, управляє інтенсивністю їх компенсаційного механізму біотичної саморегуляції;

***набуло подальшого розвитку:***

– уявлення щодо доцільності застосування біотичного потенціалу поверхневих водних об'єктів як кількісного індикатора структурно-функціональних змін компенсаційного механізму їх біотичної саморегуляції з обґрунтуванням його використання в системі контролю та управління за басейновим принципом екологічною безпекою зазначених об'єктів, на відміну від застосування як контрольного параметра лише значення гранично допустимих концентрацій забруднювальних речовин, передбаченого адміністративно-територіальним принципом.

**Практичне значення отриманих результатів** полягає у створенні передумов зниження негативних наслідків техногенного впливу на екологічний стан поверхневих водних об'єктів та якість водних ресурсів річкових басейнів.

Результати дисертаційних досліджень використано:

– Солом'янською районною в м. Києві державною адміністрацією шляхом впровадження пілотного проекту запропонованої штучної біоінженерної системи, що дозволило відновити якісні характеристики вод р. Нивка до нормативних показників та відновити властивість річки як об'єкт рекреаційного призначення (акт впровадження від 26.02.2019 р.);

– ТОВ НІЦ «Потенціал-4» шляхом впровадження у проектну документацію для контролю, що дозволило покращити екологічний стан малих річок за такими показниками: зниження концентрації нафтопродуктів та сполук металів токсичної дії на 50 %; зниження значення показника ХСК та БСК<sub>5</sub> на 20 %; приведення значення загального органічного вуглецю до нормативних вимог (акт упровадження від 20.01.2019 р.);

– ТОВ НВО «Етна» шляхом впровадження у проектну документацію та під час розроблення очисних споруд промислових підприємств, що дозволило модернізувати технологічні схеми очисних споруд та підвищити ефективність очищення стічних вод промислових підприємств (акт упровадження від 17.01.2019 р.);

– Національним авіаційним університетом для студентів спеціальності 101 «Екологія» під час викладання дисциплін «Загальна екологія та неоекологія» (акт упровадження від 23.10.2018 р.) і «Техноекологія», «Урбоекологія» (акт упровадження від 17.11.2018 р.).

**Особистий внесок здобувача** полягає в аналізуванні стану проблеми, формуванні і доведенні положень дисертаційної роботи, постановці завдань і програм досліджень, розробленні концептуальних принципів оптимізації форм системи управління екологічною безпекою ТТВЕ, участі у проведенні експериментальних досліджень, обробленні їх результатів, узагальненні отриманих результатів, прогнозуванні змін розвитку ділянки басейну Дніпра, формулюванні висновків, конструюванні пілотної установки біоінженерної системи інтенсифікації компенсаційного механізму біотичної саморегуляції та оцінюванні ефективності її функціонування.

Основні наукові положення, що містяться в дисертації, отримані автором самостійно і опубліковані одноосібно [2, 7, 9, 11, 12, 14, 23, 28, 34, 35, 37, 42–44, 47, 49, 52, 55, 57–60]. У публікаціях у співавторстві здобувачу належать: у роботі [1] – формування ідеї, постановка мети та завдань, формування висновків, інтерпретація результатів досліджень; у роботах [3, 6, 24, 29] – розроблення методики досліджень, планування експерименту, аналіз, уточнення результатів і формування висновків; у роботах [8, 10, 17, 27, 31] – формування мети, постановка завдань, удосконалення методики доочищення стічних вод, інтерпретація та узагальнення результатів, формування висновків; у роботах [5, 13, 16, 26, 53] – формування алгоритму встановлення еколого-безпечного функціонування ТТВЕ за умов постійного надходження модифікуючих впливів, узагальнення результатів та оформлення висновків; у роботах [4, 15, 39] – планування експерименту щодо збільшення буферності поверхневих вод, розроблення методики досліджень, аналіз результатів і формування висновків; у роботах [22, 25, 30, 41, 51] – планування експериментів, постановка задач та формування мети щодо встановлення параметрів еколого-безпечного функціонування гідроекосистем з інтенсивним техногенним впливом, написання висновків; у роботах [33, 54] – розроблення методики індикаторного контролю, інтерпретація та узагальнення отриманих результатів; у роботах [21, 50] – розроблення математичних моделей, уточнення, оброблення результатів та формування висновків; у роботах [48] – розроблення методики досліджень механізму біотичної саморегуляції, формування мети, завдань та висновків; у

працях [18, 32, 56] – формування ідеї, розроблення методики і програми досліджень, узагальнення результатів щодо адаптаційних можливостей макрофітів та сприяння їх відновленню інтенсивності механізму біотичної саморегуляції ТТВЕ; у роботах [19, 20, 31, 45, 46] – розроблення методики відновлення самоочисної спроможності ТТВЕ, конструювання пілотної установки, узагальнення отриманих результатів; у працях [36, 38, 40] – постановка завдань, планування експериментів, формування висновків, що підтверджують можливість відновлення самоочисної здатності техногенно заангажованих водних екосистем.

**Апробація результатів дисертації.** Основні положення теоретичних та практичних досліджень за напрямом дисертаційної роботи доповідались, обговорювались і були схвалені на 27 наукових конференціях, симпозіумах та конгресах різних рівнів, а також опубліковані у відповідних наукових виданнях, серед них: Міжнародна науково-практична конференція «Природокористування і сталий розвиток: економіка, екологія, управління» (Ірпінь, 2014); IV Міжнародна науково-практична конференція «Аеропорти – вікно в майбутнє» (Київ, 2014); VIII Международная научно-практическая конференция «Современные тенденции развития науки и технологий (Россия, Белгород, 2015); III Міжнародна науково-практична конференція «Екологія і природокористування в системі оптимізації відносин природи і суспільства» (Тернопіль, 2016); X Всеукраїнська науково-практична конференція «Екологічна безпека держави» (Київ, 2016); Всеукраїнська науково-практична конференція «Біотехнологія XXI» (Київ, 2016); Всеукраїнська науково-практична конференція «Вода: проблеми та шляхи вирішення» (Рівне, 2016); VII Всесвітній Конгрес «Авіація в XXI столітті» (Київ, 2016); XVI Всеукраїнська науково-практична конференція «Актуальні проблеми енергетики та екології» (Одеса, 2016); III Міжнародна науково-практична конференція «Водокористування: технології, споруди, менеджмент» (Київ, 2016); Міжнародна науково-практична конференція «Екогеофорум-2017. Актуальні проблеми та інновації» (Івано-Франківськ, 2017); XXIV щорічна наукова конференція Інституту ядерних досліджень НАН України (Київ, 2017); XV Міжнародна наукова конференція «Шевченківська весна» (Київ, 2017); XIII Міжнародна науково-технічна конференція «АВІА-2017» (Київ, 2017); V Міжнародна науково-практична конференція «Середовище, оточуюче людину: природне, техногенне, соціальне» (Бердянськ, 2017); I Міжнародна науково-практична конференція «Збалансоване природокористування: традиції, перспективи і інновації» (Київ, 2017); VI Міжнародна науково-практична конференція «Проблеми хімотології» (Київ-Львівська обл., 2017); Міжнародний симпозіум «ISSA 2017: Сталий розвиток авіації» (Київ, 2017); VI Всеукраїнський з'їзд екологів з міжнародною участю (Вінниця, 2017); XV Міжнародна науково-технічна конференція «Проблеми екологічної безпеки» (Кременчук, 2017); V Міжнародна науково-практична конференція «Чиста вода. Фундаментальні, прикладні та промислові аспекти» (Київ, 2017); II спеціалізований Міжнародний екологічний форум «Еко Форум – 2018» (Запоріжжя, 2018); XIV Міжнародна науково-практична конференція «Радіаційна і техногенно-екологічна безпека людини та довкілля: стан, шляхи і заходи покращення» (Миколаїв-Очаків, 2018); XIV Міжнародна науково-практична конференція «Екологічна безпека як основа сталого розвитку суспільства.



Європейський досвід і перспективи» (Львів, 2018); VIII Всесвітній конгрес «Авіація у XXI столітті. Безпека в авіації та космічні технології» (Київ, 2018); VIII Всеукраїнська науково-практична Інтернет-конференція «Техногенно-екологічна безпека України: стан та перспективи розвитку» (Ірпінь, 2018); II Міжнародна науково-практична конференція «Збалансоване природокористування: традиції, перспективи і інновації» (Київ, 2018).

**Публікації.** За результатами дисертаційних досліджень опубліковано 60 наукових праць, у тому числі: 2 – монографії [1, 2]; 28 наукових статей із них: 3 статті у закордонних наукових виданнях [3–5], 12 наукових статей у виданнях, регламентованих ВАК України [6–17], 5 статей у виданнях Scopus [18–22], 8 статей у виданнях, що індексуються міжнародними науково-метричними базами даних [23–30]; 2 патенти [31,32]; 1 авторське свідоцтво [33]; 27 публікацій тез у матеріалах наукових конференцій, симпозіумів та конгресів [34–59].

**Структура та обсяг дисертації.** Дисертаційна робота складається з анотації, переліку умовних позначень, вступу, шести розділів, загальних висновків, списку використаних джерел з 424 найменувань, а також 15 додатків. Загальний обсяг дисертації – 385 сторінки друкованого тексту, з них обсяг основного тексту – 280 сторінок. Робота містить 17 таблиць, 61 рисунок.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано вибір та актуальність теми, розкриті суть та сучасний стан наукової проблеми, сформульовані мета, основні завдання досліджень, висвітлені наукові положення, наукова новизна отриманих результатів, що винесені на захист, а також відомості про практичне значення та впровадження результатів роботи. Висвітлено внесок автора у публікації та апробації результатів роботи.

У **першому розділі** виконано аналіз сучасних літературних джерел щодо встановлення основних причин та наслідків формування техногенно-обумовленого характеру розвитку змін водних екосистем, детальне вивчення яких дозволить запропонувати оптимальні форми управління екологічною безпекою ТТВЕ. Встановлено, що основними причинами техногенних трансформацій водних об'єктів і дисбалансу їх функціонування є високий рівень техногенного навантаження за рахунок інтенсифікації техногенезу, що неминуче призводить до зростання рівня ентропічних процесів, порушення гомеостазу, речовинно-енергетичного балансу та динамічної рівноваги між абіотичною і біотичною складовими.

Визначення механізму екологічних перетворень природних водних екосистем у техногенно трансформовані можливе за рахунок встановлення інтенсивності змін внутрішньоводоймних процесів та узгодженості взаємозв'язків між біотичною і абіотичною складовими. Динамічна рівновага поверхневих водних об'єктів залежить від механізму біотичної саморегуляції, визначальною складовою якого є система живих організмів (їм належить основна середовищеутворювальна функція), яка перебуває в прямій залежності від абіотичних чинників та зумовлена постійними взаємозв'язками і взаємодіями з антропогенними факторами.

Екосистемний спосіб організації гідробіоценозів залежить від внутрішньої структури та адаптивних функцій внутрішньоводоймних процесів (рис. 1) і є похідним чинником функціональної залежності біотичної складової від абіотичної.

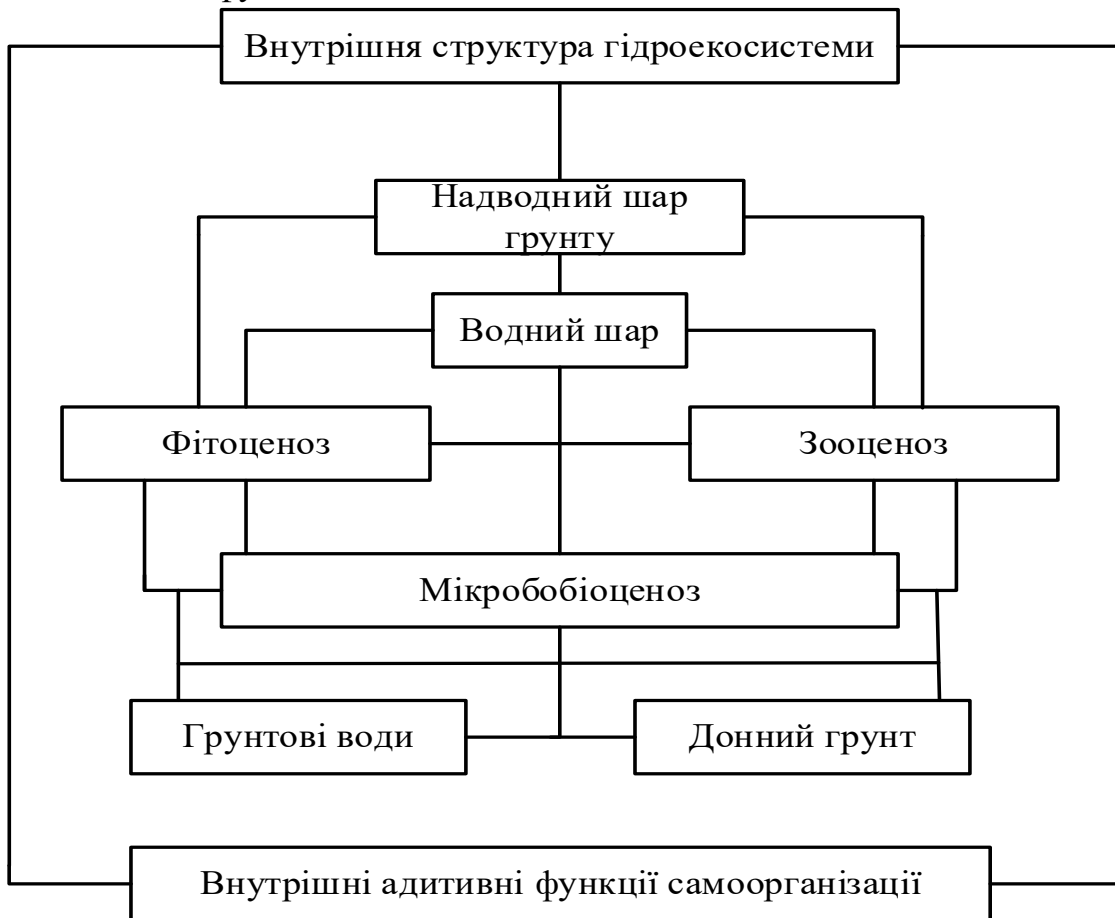


Рис. 1. Схематичне зображення структурно-функціональних особливостей самоорганізації водних екосистем

Кінетика розвитку водних екосистем та гомеостатичні параметри узгоджуються завдяки прямим і зворотним зв'язкам з амплітудою адаптаційних коливань біоти та зміною механізму біотичної саморегуляції вод. Ці глибинні внутрішньоводоймні процеси визначаються рівнями змін взаємозв'язків і взаємодії екологічних та антропогенних чинників.

Наведена схема засвідчує, що внутрішня саморегуляція поверхневих водних екосистем, у тому числі з техногенно-зумовленим характером розвитку, залежить від ефективності механізму пластичного метаболізму хімічних сполук, інтенсивності компенсаційного механізму біотичної саморегуляції та взаємозв'язків абіотичної та біотичної складових.

Розширення наукових уявлень про механізми формування техногенно-зумовленого характеру розвитку поверхневих водних об'єктів, обумовило необхідність розроблення класифікації стадій перетворень (рис. 2) еколого-збалансованих поверхневих водних екосистем у техногенно трансформовані, унаслідок дослідження інтенсивності змін внутрішньоводоймних процесів.

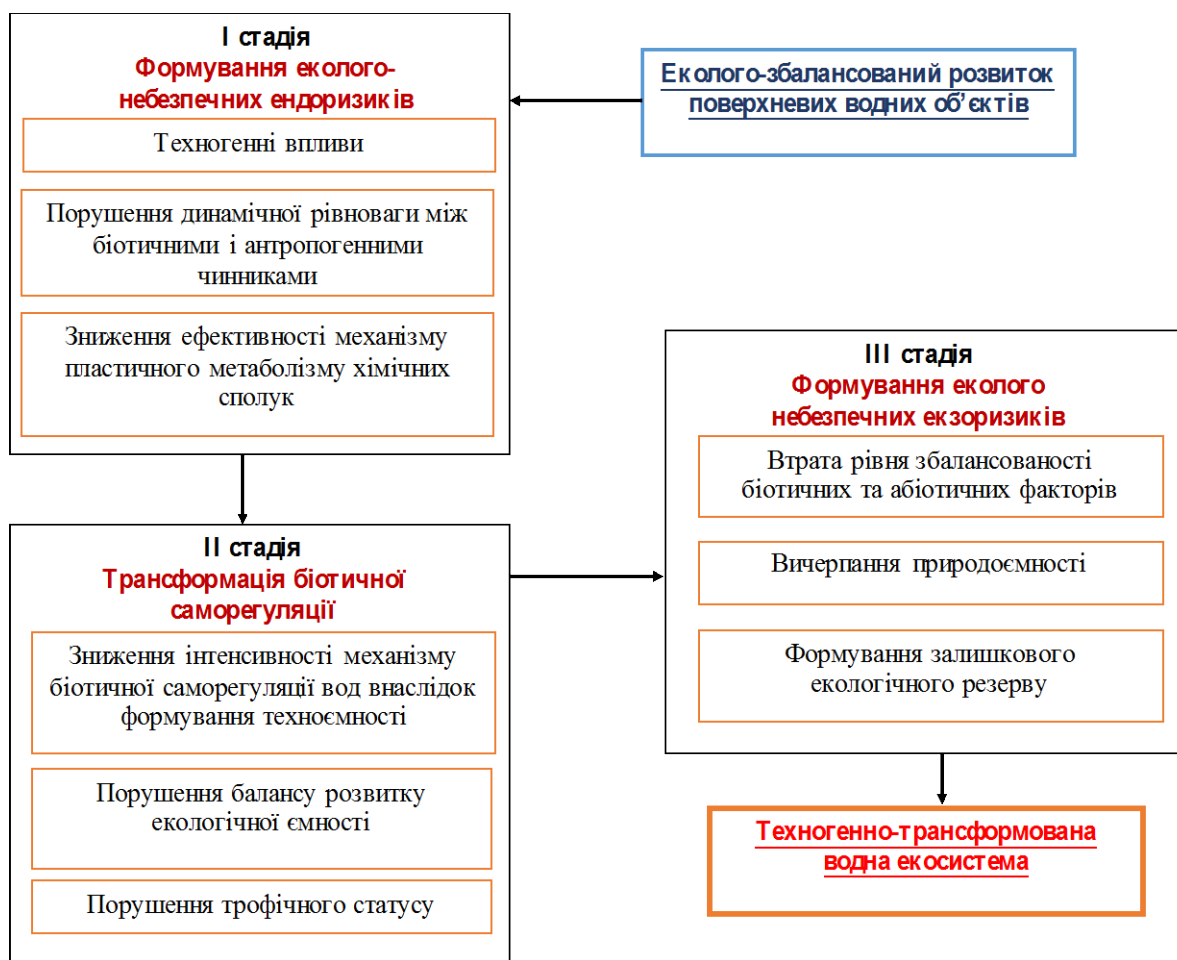


Рис. 2. Схематичне зображення поетапної трансформації поверхневих водних екосистем внаслідок дії на них техногенного впливу

Узагальнення результатів проведеного аналізу рисунка свідчить, що до довгострокових стадій перетворень належать: *I стадія (формування еколого-небезпечних ендоризиків)* – унаслідок дії техногенних чинників вміст забруднювачів досягає понаднормативного рівня, як результат – порушення динамічної рівноваги між природними і антропогенними чинниками та порушення гідродинамічного режиму. Відбувається донна кумуляція екотоксикантів та їх токсична дія на біоту, а також біокумуляція у вищих водяних рослинах, за рахунок чого знижується ефективність механізму пластичного метаболізму хімічних сполук антропогенного походження та формуються еколого-небезпечні ендоризики; *II стадія (трансформація біотичної саморегуляції)* характеризується частковою трансформацією компенсаційного механізму біотичної саморегуляції та порушенням балансу екологічної ємності, за рахунок формування в її межах балансу техноємності, наслідком чого є порушення трофічного статусу та зміна екологічної ситуації; *III стадія (формування еколого-небезпечних екзоризиків)* – порушення динамічної рівноваги, що призводить до втрати рівня збалансованості біотичних і абіотичних факторів, у результаті чого її темпи і розвиток не узгоджуються між собою, як наслідок – виснаження природоємності та формування залишкового екологічного балансу, що своєю чергою призводить до формування еколого-небезпечних екзоризиків та утворення різних ступенів забрудненості.

Розуміння процесів формування стадій техногенних перетворень дозволить відновити екологічну рівновагу поверхневим водним екосистемам та знизити негативні наслідки техногенного впливу на екологічний стан поверхневих водних об'єктів за рахунок інтенсифікації компенсаційного механізму біотичного саморегулювання.

У **другому розділі** наведено розроблену методологію, методи і методики проведення дисертаційних досліджень та розроблені науково-методологічні підходи впровадження інтегрованого підходу в систему управління екологічною безпекою поверхневих водних об'єктів за басейновим принципом,

Запропонована система управління зводиться до підвищення буферності системи самоочищення (механізму біотичної саморегуляції водного об'єкту) та підвищення її здатності чинити опір системі втручання (техногенному впливу), за рахунок введення інформативної індикаторної системи контролю, яка враховує структурно-функціональні зміни розвитку водних екосистем і дозволяє виявити порушення взаємозв'язків між системою втручання та системою самоочищення та відновити їх за рахунок введення системи керування (рис. 3).

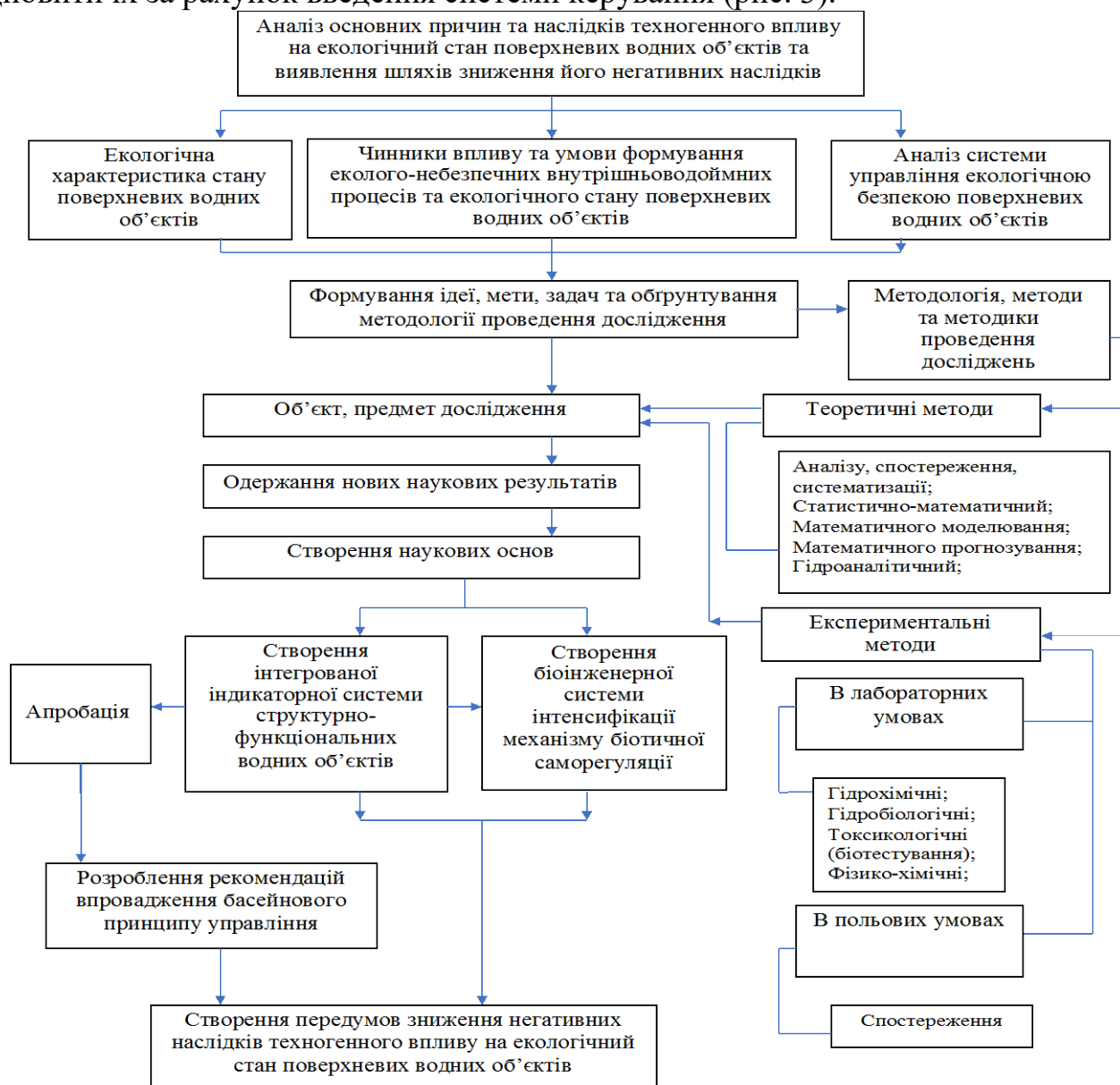


Рис. 3. Схематичне зображення методології проведення дисертаційних досліджень

Методологічну основу склало застосування системного підходу поєднання методів (аналізу, спостереження, систематизації, статистично-математичного, математичного моделювання, математичного прогнозування, гідроаналітичного, гідрохімічного, гідробіологічного, фізико-хімічного та токсикологічного).

Оскільки в кожному водному об'єкті різні умови розвитку, відповідно і механізми переходу природних поверхневих водних об'єктів слід розглядати для кожного окремо, але необхідно розробити єдиний алгоритм, який дозволить кількісно охарактеризувати структурно-функціональні зміни, спричинені техногенною трансформацією. Для цього необхідно обрати певну ділянку басейну, результати досліджень якої можуть бути успішно адаптованими для інших поверхневих водних об'єктів з високим рівнем техногенного навантаження. Оскільки басейн Дніпра є найбільш техногенно навантажений його структурні елементи обрані для прикладу впровадження запропонованої методології. Складові елементи комплексної гідрографічної структури басейну Дніпра об'єднані між собою функціонально та гідрографічними взаємозв'язками. Постійні трофічні зв'язки між річками басейну Дніпра забезпечують гомеостатичний механізм розвитку єдиної комплексної системи басейну на різних рівнях ієрархічного розвитку і дозволяють розглядати їх як сукупність взаємопов'язаних складових у єдиній матеріальній системі: «мала річка (р. Нивка) – середня річка (р. Ірпінь) – велика річка (р. Дніпро в районі Київського водосховища)».

Науково обґрунтовано доцільність компонування ділянки річкового басейну на спеціалізовані підсистеми, оскільки функціонування єдиної водної екосистеми під дією антропогенних чинників сприяє формуванню в її межах спеціалізованих підсистем, які мають основні властивості системи та повинні досліджуватись як система, адже без взаємодії елементів підсистем неможливий їх розвиток як системи. Спеціалізовані підсистеми ділянки екосистеми басейну Дніпра показані на рис. 4.



*Ділянка малої р. Нивки* (місце скиду зворотних вод більше ніж 60-ти підприємств) завдовжки – 10 км



*Ділянка середньої р. Ірпінь* (від місця впадання р. Нивки, до Київського водосховища) довжиною 55 км.



*Прибережна зона Київського водосховища* (місце впадання вод р. Ірпінь до р. Дніпро)

Рис. 4. Фото досліджуваних структурних елементів підсистем басейну р. Дніпра

Структурні елементи басейну річки Дніпра об'єднані між собою функціонально, характеризуються всіма ієрархічними рівнями та забезпечують різні функції екосистемного розвитку басейну. У кожній спеціалізованій підсистемі збільшується опір, відбувається внутрішня адаптаційна перебудова, спрямована на

нейтралізацію забруднювачів усіма її компонентами. Для пояснення процесів нейтралізації забруднювачів застосовані загальнотеоретичні основи організації розвитку ТТВЕ, які описані з позиції теорії систем, згідно з якою вони розглядаються як відкриті термодинамічні системи, що мають високий рівень структурної цілісності, взаємопов'язаності та характеризуються функціональною єдністю структурних компонентів, за рахунок саморегулюючої здатності.

**Третій розділ** присвячено дослідженням основних причин та наслідків речовинно-енергетичних трансформацій та рівнів порушень екологічної рівноваги на ділянці басейну Дніпра. На початковому етапі досліджень основну увагу зміщено в бік встановлення та обґрунтування техногенних перетворень структурного елементу басейну р. Дніпра – гирлової ділянки середньої р. Ірпінь, причиною порушення екологічної рівноваги якої є структурний елемент нижчого ієрархічного рівня басейну р. Дніпро – мала р. Нивки (протікає вздовж м. Києва і до її вод скидаються зворотні води понад 60 підприємств різних галузей промислового виробництва). Факт техногенної трансформації речовинно-енергетичного балансу р. Нивки підтверджується проведеним аналізом, систематизацією та статистичним обробленням даних, отриманих у результаті власних екологічних досліджень за п'ятнадцятирічний період (2003–2018). Установлено, що відбувається порушення речовинно-енергетичного балансу цієї малої річки за рахунок перевищення понаднормативної гранично допустимої концентрації загального вмісту органічних речовин за показниками хімічного споживання кисню (ХСК) – у 2,6 разу у поверхневому шарі води та вдвічі у придонному шарі води та біохімічного споживання кисню (БСК<sub>5</sub>) – у 3,6 разу у поверхневому шарі води та в 7,5 разу у придонному шарі води. Під впливом реакції нітрифікації у водоймі відбулося порушення матеріально-енергетичного балансу, за рахунок чого збільшилась маса донних відкладів (матеріальна кумуляція). Встановлене перевищення азоту амонійного у поверхневому шарі води в 8,7 разу відносно ГДК<sub>р/госп</sub> та у придонному шарі води у 34 рази, азоту нітритного у поверхневому шарі води в 25 разів, та у придонному шарі води – у 45 разів. За індивідуальними показниками фіксується перевищення ГДК<sub>р/госп</sub> щодо нафтопродуктів у 218 разів у поверхневому шарі води, у 298 разів у придонному шарі води, в 1720 разів у донних відкладеннях, а також сполук металів токсичної дії в 31 раз у поверхневому шарі води, у 48 разів у придонному шарі води та в 300 разів у донних відкладеннях. За таких умов фіксується дисбаланс функціонування внутрішньоводоймних процесів та зниження здатності р. Нивки до саморегенерації.

Сполукам металів токсичної дії, внаслідок їх властивостей, притаманна здатність змінювати форму знаходження у водних об'єктах і, в першу чергу, при переході з одного водного резервуару в інший, що сприяє їх міграції та впливає на інтенсивність пластичного метаболізму хімічних сполук (процеси анаболізму та катаболізму). Крім того, цинку, свинцю та хрому притаманна матеріально-функціональна кумуляція в донних відкладеннях і біокумуляція в рослинах, за рахунок цього відбуваються порушення матеріально-енергетичного балансу та утворення вторинних зон забруднення. Збільшення маси донних відкладень виступає як один із гідрологічних наслідків урбанізації, техногенної трансформації річкових екосистем та їх якісного виснаження.

Наслідки порушення матеріально-енергетичного балансу встановлювались з

допомогою методів біотестування на таких тест-об'єктах, як: *Daphnia magna* S., *Allium cepa*, L., *Lactuca sativa* Z. Реакція біологічних об'єктів усіх трофічних рівнів має тенденцію до збільшення токсичності у ряді – «поверхневий шар води → придонний шар води → донні відклади» для всіх тестових організмів (табл. 1).

Таблиця 1

**Результати біотестування поверхневого, придонного шару води та донних відкладень малої р. Нивки басейну р. Дніпра**

Тест-об'єкти	Пригнічення росту <i>Lactuca sativa</i> Z., <i>Allium cepa</i> L. та смертність <i>Daphnia magna</i> S., %		
	поверхневий шар води	придонний шар води	донні відклади
<i>Lactuca sativa</i> Z.	55 %	60 %	82 %
<i>Allium cepa</i> L.	50 %	55 %	78 %
<i>Daphnia magna</i> S.	65 %	75 %	80 %
Висновок про токсичність	Токсичні	Гостро токсичні	Гостро токсичні

Результати біотестування свідчать про високий рівень токсичності водного середовища, що своєю чергою вказує на ймовірне порушення взаємозв'язків абіотичної і біотичної складових водної екосистеми та пов'язує техногенну трансформацію в екосистемі з зміною когерентних взаємозв'язків між чинниками живої і не живої природи, а за таких умов у водоймі порушується інтенсивність компенсаційного механізму біотичної саморегуляції, і р. Нивка (як притока) становить небезпеку для гирлової ділянки р. Ірпінь, оскільки результати досліджень дозволяють із впевненістю вважати її води джерелом техногенного забруднення для спеціалізованої підсистеми р. Ірпінь – водної екосистеми річок басейну Дніпра.

Екологічну оцінку ділянки басейну р. Дніпра (за десятирічний період) за загальним екологічним індексом наведено в табл. 2.

Таблиця 2

**Екологічна характеристика якості води басейну р. Дніпра за загальним екологічним індексом та його блоками показників**

Контрольні точки відбору проб та їх усереднені значення	Загальний екологічний індекс та блоки його показників			
	I <sub>1</sub> блок показників сольового складу	I <sub>2</sub> блок трофо-сапробіологічних показників	I <sub>3</sub> блок показників токсичної дії	I <sub>e</sub> загальний екологічний індекс
Басейн річки Дніпро	2,38	3,18	4,17	3,29
Басейн річки Ірпінь	1,67	3,20	4,07	3,01
Гирлова ділянка р. Ірпінь (контрольні гідроствори)				
Сел. Мостище	2,35	4,57	1,38	2,79
Смт. Гостоміль	2,32	3,86	4,77	3,63
Сел. Казаровичі	2,11	5,36	1,42	3,08

Проаналізувавши отримані результати, видно, що техногенно-зумовлений характер розвитку ділянки басейну Дніпра підтверджується, оскільки коливання вмісту блокових показників та їх спрямованість, за узагальненим екологічним індексом, має близькі градації в межах кожного контрольного гідроствору за гідрохімічними показниками (просторово-часове розповсюдження забруднювачів).

При визначенні класу якості води засвідчено, що функціональні особливості розвитку р. Ірпінь характеризуються від нестійкого рівня динамічної рівноваги (III клас якості вод, помірнозабруднені) – 2 % випадків до порушення динамічної рівноваги (IV клас якості вод, забруднені) – 98 % випадків, що пов'язано з нерегульованими джерелами поверхневого стоку. Але водночас відносно високий коефіцієнт самовідновлення вод (0,5) свідчить про стабільність гомеостатичного розвитку, що досягається шляхом постійної реадптації біоти і є результатом дії зворотних зав'язків в об'єднаній системі річок басейну р. Дніпра.

Для прогнозування змін якості вод р. Ірпінь з урахуванням структурно-функціональних особливостей розвитку обрано статистично-математичний метод, заснований на використанні речовинного балансу, метаболічної та екологічної спроможності ТТВЕ (за компенсаційним механізмом біотичної саморегуляції). Такий підхід дозволяє надати об'єктивну оцінку якісного виснаження ТТВЕ та математично описати зміни речовинного балансу в просторі та часі. Статистична математична модель являє собою аналітично-виражену тенденцію розвитку:

$$C = f(t) \cdot K_{\text{сам}} \quad (1)$$

де  $C$  – сумарний показник ХСК – кисневий еквівалент загальної кількості у воді органічних речовин;  $t$  – час;  $K_{\text{сам}}$  – орієнтовне значення коефіцієнта швидкості самоочищення річкової води забруднювальних речовин за даним показником – 0,2.

Коефіцієнт самоочищення введено у зв'язку з екосистемним способом розвитку біоценозів, який впливає на фізико-хімічну трансформацію хімічних сполук і тим самим об'єднує біоту з біологічними процесами. Результати математичного моделювання прогнозу розвитку гирлової ділянки р. Ірпінь свідчать про техногенно-зумовлений характер її розвитку. З отриманих результатів випливає, що прогнозна величина не перевищує 39,9, що узгоджується із показниками, які характеризують максимальний техногенний тиск на ділянку комплексної водної екосистеми ділянки басейну р. Дніпра. Результати прогнозування дають підстави стверджувати, що інтенсивність компенсаційного механізму біотичної саморегуляції вод р. Ірпінь порушена, але не трансформована повністю. Оскільки саме в цей період прослідковується динаміка зниження інтенсивності механізму біотичної саморегуляції вод – 13,0 (фактичне) – 21,0 (контроль) за рахунок збільшення балансу техноємності.

У **четвертому розділі** досліджено внутрішньоводоймні процеси з відновлення самоочисної здатності поверхневих водних об'єктів в умовах постійного надходження техногенних впливів та закономірностей функціонування цих процесів для розроблення оптимальних форм управління екологічною безпекою ТТВЕ. Розуміння процесів динаміки змін основних параметрів процесу самоочищення дозволить розробити систему керування цими внутрішньоводоймними процесами, що сприятиме активізації системи самоочищення (механізму біотичної саморегуляції) водних об'єктів.

Для реалізації тактичних намірів розроблені науково-методичні підходи до



встановлення наукових закономірностей функціональних особливостей внутрішньої самоорганізації ТТВЕ. Запропонована схема-програма досліджень має екосистемний характер, що дає змогу охарактеризувати всі етапи техногенезу відносно ТТВЕ (рис. 5).

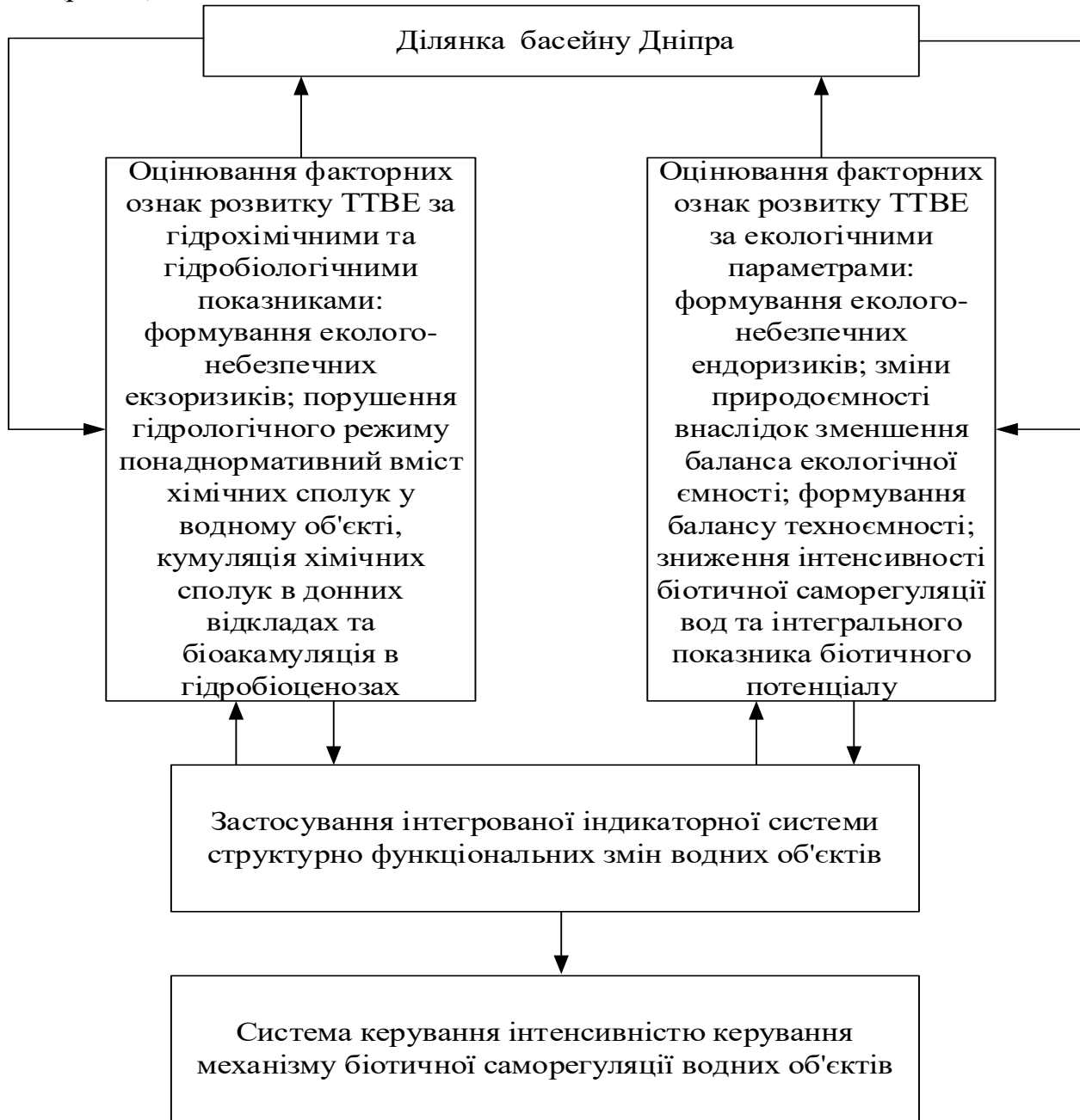


Рис. 5. Схематичне зображення алгоритму досліджень зі визначення закономірностей функціональних особливостей процесу самоочищення поверхневих водних об'єктів

Розроблена програма досліджень дозволяє охарактеризувати особливості динаміки функціонування процесу самоочищення водних об'єктів за гідрохімічними, гідробіологічними показниками та екологічними параметрами, що дасть змогу удосконалити форми управління їх екологічною безпекою за рахунок інтенсифікації функціонування процесу самоочищення.

Вихідні параметри функціонування процесу самоочищення, які впливають на перетворення поверхневих водних об'єктів у техногенно трансформовані, запропоновано об'єднати в такі групи:

– факторні (температура, окисно-відновний потенціал, показник загального органічного вуглецю, насиченість води киснем, речовинно-енергетичний баланс, біотичний потенціал);

– пластичного метаболізму хімічних сполук антропогенного походження;

– механізму біотичної саморегуляції.

У таблиці 3 наведено кількісну характеристику інтегральних процесів трансформації, зумовлених зміною факторних параметрів процесу самоочищення, на прикладі гирлової ділянки р. Ірпінь.

Таблиця 3

**Основні показники за окремими інтегральними складовими процесу самоочищення та розраховані за ними градації якості води**

Показники	Градації якості води	
	помірно-забруднені води, III клас якості	забруднені води, IV клас якості
Екологічний індекс, $I_e$	2,7–3,1	3,3–3,6
Індекс забруднення води за ІЗВ	1,9–2,0	2,5–3,0
Індекс техногенних впливів (за ХСК)	1,7–1,9	2,0–2,5
Питомий показник загального органічного вуглецю	5,8–9,5	9,6–15,0
Критерій біомаси за життєздатною біомасою біоти	2,5–2,7	1,8–2,2
Критерій біокумуляції ВВР (сумарно)	$4,9 \cdot 10^{-7}$ – $6,5 \cdot 10^{-3}$	$6,4 \cdot 10^{-7}$ – $9,5 \cdot 10^{-6}$
Критерій ефективності механізму пластичного метаболізму хімічних сполук	0,36–1,0	0,24–0,36
Критерій рівня біотичної саморегуляції	19,5–51,4	6,36–19,4
Критерій рівня екологічної ємності	26,5–35,0	13,3–26,4
Критерій рівня техноємності	15,0–18,0	6,7–7,12
Критерій рівня залишкового екологічного резерву	11,1–18,0	6,4–11,0
Еколого-небезпечні екзоризики (зовнішні впливи)	2,3	2,4
Еколого-небезпечні ендоризики (внутрішні процеси)	1,2	1,4
Критерій втрати природоємності, %	29	49
Рівень екологічної безпеки	Допустимий	Помірно-допустимий

Примітка: \* – усереднені дані за 10 років (2008–2018 рр.)

Застосовуючи метод інтерпретації до результатів даних таблиці, слід зазначити, що всебічно досліджено структурно-функціональні особливості процесу самоочищення (для статистично-математичного оброблення було використано понад 2000 проб, а отримані остаточні кінцеві результати пов'язані із застосуванням певних математичних моделей). Такі широкомасштабні комплексні

дослідження щодо визначення параметрів процесу саморегулюючої здатності річкових екосистем приведені вперше.

Оцінювання узгодженості, взаємозалежності функціонування та взаємодії параметрів процесу самоочищення, оптимальних умов стану середовища існування живих організмів, залежно від рівня техногенного впливу для ділянки р. Ірпінь, виконано на основі розробленої математичної моделі, за якою виконується узагальнюючий закон Фіка, що описує функції багатьох змінних (з урахуванням коефіцієнта змішування забрудненої і річкової води ( $\varphi$ )). Розв'язання рівняння дозволяє визначити усереднений індикатор змін інтенсивності механізму біотичної саморегуляції вод за умов техногенних впливів:

$$\frac{dc}{dt} = \varphi \left[ \frac{dc}{dx} + \frac{dc}{dy} + \frac{dc}{dz} \right] - \frac{d}{dx}(m_x) - \frac{d}{dy}(m_y) - \frac{d}{dz}(m_z), \quad (2)$$

де  $\varphi$  – коефіцієнт змішування, який дорівнює для середніх річок – 0,8;  $x, y, z$  – критерії біомаси;  $c$  – концентрація;  $m_x, m_y, m_z$  – відповідно ІЗВ за гідростворами.

За результатами розрахунків індикатор змін механізму біотичної саморегуляції становить близько 20 ум. од., що свідчить про незначне порушення взаємозв'язків параметрів стабільного функціонування. Проте залежність функціонування параметрів та взаємоузгодженість зв'язків не втрачені, що вказує на здатність гирлової ділянки р. Ірпінь до самоочищення за рахунок розподілення в просторі системи р. Ірпінь (гідростворами смт. Мостище, смт. Гостомель, сел. Козаровичі) забруднювальних речовин.

Отже, зміна інтенсивності внутрішньоводоймних процесів, за рахунок порушення взаємозв'язків і взаємодії між зазначеними параметрами, призводить до техногенних трансформацій, кількісним інтегральним показником яких є компенсаційний механізм біотичної саморегуляції, динаміку інтенсивності змін якого показано на рис. 6.

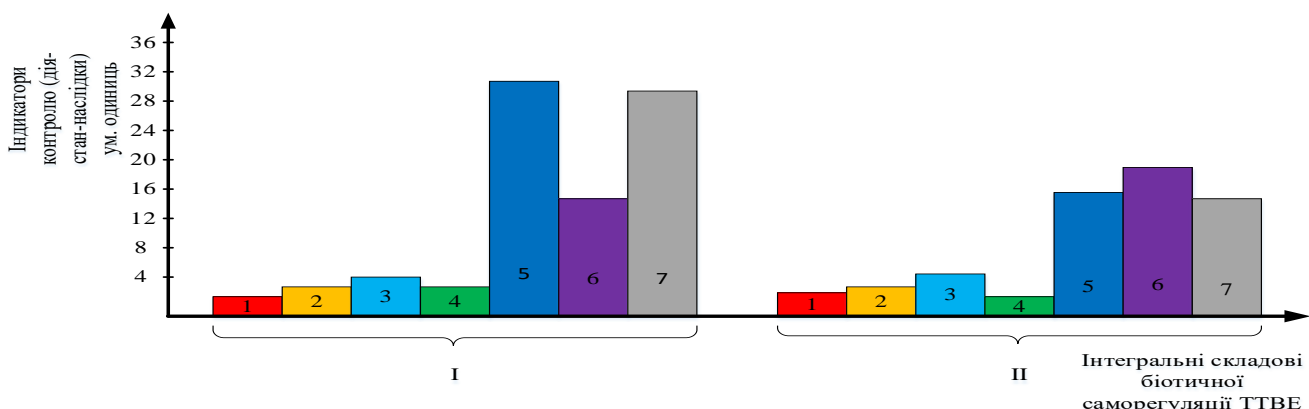


Рис. 6. Динаміка змін інтенсивності компенсаційного механізму біотичної саморегуляції ТТВБ та його інтегральних складових: 1 – індекс техногенних впливів; 2 – критерій біомаси; 3 – ІЗВ; 4 – критерій ефективності механізму пластичного метаболізму хімічних сполук; 5 – критерій екологічної ємності; 6 – критерій техноємності; 7 – критерій інтенсивності механізму біотичної саморегуляції ТТВБ; I – помірно-забруднені води; II – забруднені води

На рисунку показано, що забруднені ТТВЕ, порівняно з помірно забрудненими характеризуються зниженням рівня ефективності пластичного метаболізму хімічних сполук, а компенсаційний механізм біотичної саморегуляції корелюється з зміною екологічної ємності і техноємності.

Отриманий результат також дозволяє охарактеризувати процес техногенних перетворень водних об'єктів за такими градаціями:

– перша градація – зміна *речовинно-енергетичного балансу* речовин антропогенного походження за індивідуальними, сумарними показниками;

– друга градація – зміна *ефективності механізму пластичного метаболізму хімічних сполук антропогенного походження* в водних об'єктах (синтез та трансформація хімічних сполук);

– третя градація – *нестійка динамічна рівновага* внаслідок ушкоджуючої дії екотоксикантів антропогенного походження, за якої механізм біотичної саморегуляції знаходиться на межі внутрішньої взаємодії екологічних та антропогенних чинників;

– четверта градація – (типова для малих річок України, наприклад р. Нивки) *перетворення абіотичного середовища*, яке оточує біоту і впливає на неї, що призводить до порушення динамічної рівноваги;

– п'ята градація – порушення *відносної стабільності*, коли компенсаційні механізми біотичної саморегуляції не в змозі чинити опір техногенному впливові і в результаті відбувається якісне виснаження вод.

Техногенні перетворення гирлової ділянки р. Ірпінь, відповідно до запропонованої класифікації, належать до третьої градації, що підтверджується результатами статистично-математичних розрахунків і свідчить про відсутність «критичної» ситуації, зумовленої багатофакторним техногенним впливом для зазначеної ділянки басейну р. Дніпра та вказує на здатність до самоочищення.

Швидкість самоочищення водних об'єктів є відгуком біоти на зміну середовища існування та відображається на біотичному потенціалі, а також виступає інтегрованим показником механізму біотичної саморегуляції вод. В основі визначення індикатора швидкості самоочищення внутрішньоводоймних процесів ТТВЕ ( $I_{ш.с.ТТВЕ}$ ) лежить модифіковане рівняння Міхаеліса-Ментен. Розрахунок якого здійснювався на основі використання власних результатів досліджень із амплітудою коливань значень за десятирічний період за рівнянням:

$$I_{ш.с.ТТВЕ} = \left[ \frac{(V_{max} \cdot S_0)}{(K_T \pm S_i)} \right] \gamma f \quad (3)$$

де  $I_{ш.с.ТТВЕ}$  – індикатор швидкості самоочищення ТТВЕ від індивідуальних забруднювальних речовин або вихідна сумарна концентрація за сумарними показниками (ХСК);  $V_{max}$  – вихідна максимальна швидкість поглинання хімічних сполук або вихідної їх сумарної концентрації за ХСК із врахуванням їх самоочисної здатності;  $S_0$  – вихідна концентрація хімічної сполуки (початкова концентрація) або сумарної їх величини (ХСК);  $K_m$  – константа, яка розраховується так –  $0,5 \cdot V_{max}$ ;  $S_i$  – концентрація хімічної сполуки при виході із контрольного гідроствору;  $\gamma$  –

коефіцієнт змішування або розбавленої речовини в річковій воді, яка знаходиться у зворотних водах або поверхневих водах;  $f$  – коефіцієнт для середніх річок – 0,8.

Результати визначення динаміки змін швидкості процесу самоочищення на прикладі р. Ірпінь наведені в табл. 4.

Таблиця 4

**Динаміка змін інтенсивності внутрішньоводоймних процесів р. Ірпінь за швидкістю самоочищення (за результатами розрахунку)**

Параметри внутрішньоводоймних процесів	Показники						
	ХСК, мгО <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup>	Нафто-продукти, мг/дм <sup>3</sup>	N(NH <sub>4</sub> ), мг/дм <sup>3</sup>	N(NO <sub>3</sub> ), мг/дм <sup>3</sup>	Cu <sup>2+</sup> , мкг/дм <sup>3</sup>	Zn <sup>2+</sup> , мкг/дм <sup>3</sup>	Cr <sup>2+</sup> , мкг/дм <sup>3</sup>
<i>Контрольний гідроствор – сел. Мостище</i>							
Початкова концентрація (S <sub>0</sub> )	32	0,01	0,38	0,04	2,1	6,3	0,001
Концентрація хімічних сполуки при виході з гідроствору (S <sub>i</sub> )	42	0,3	0,6	0,036	3,0	16,1	0,001
Коефіцієнт самоочищення	0,2	0,2	1,8	0,2	1,2	0,3	0,2
вихідна максимальна швидкість поглинання хімічних сполук (V <sub>max</sub> )	6,4	0,002	0,7	0,08	2,5	2,1	0,005
Константа (K <sub>m</sub> )	3,2	0,001	0,95	0,04	1,3	1,05	0,003
Швидкість самоочищення	3,5	0,6·10 <sup>-3</sup>	0,6	6,0	0,96	3,9	0,0001
<i>Контрольний гідроствор – смт. Гостоміль</i>							
S <sub>0</sub>	24,0	0,01	0,28	0,1	0,003	0,5	0,001
S <sub>i</sub>	44,0	0,2	0,64	5,4	0,001	0,5	0,001
Коефіцієнт самоочищення	0,2	0,2	1,8	0,2	1,2	0,3	0,2
V <sub>max</sub>	4,8	0,002	0,5	0,02	0,004	0,3	0,0002
K <sub>m</sub>	2,4	0,001	0,25	0,01	0,002	0,3	0,0001
Швидкість самоочищення	1,9	0,8·10 <sup>-2</sup>	0,16	0,003	0,003	0,6	0,0002
<i>Контрольний гідроствор – сел. Казаровичі</i>							
S <sub>0</sub>	26,0	0,02	0,53	1,7	0,01	0,001	0,001
S <sub>i</sub>	52,0	0,1	0,7	5,6	0,02	0,001	0,001
Коефіцієнт самоочищення	0,2	0,2	1,8	0,2	1,2	0,3	0,2
V <sub>max</sub>	5,2	0,004	0,95	0,34	0,01	0,0003	0,0002
K <sub>m</sub>	2,6	0,002	0,48	0,17	0,003	0,0002	0,0001
Швидкість самоочищення	2,3	0,0006	0,58	0,07	0,0004	0,4·10 <sup>-3</sup>	0,5·10 <sup>-5</sup>

Отримані результати свідчать, що встановлені тенденції змін забруднювальних речовин, унаслідок домінування ролі пристосувальних реакцій біоти над ушкоджуючою дією екотоксикантів, вказують на покращення

самовідновної здатності річкової екосистеми за рахунок зниження вихідних концентрацій (гідроствор Мостище→гідроствор Козаровичі).

Визначення параметрів функціонування процесу самоочищення дає можливість спрогнозувати відгуки біоти щодо трансформації середовища їх існування. Відповідно до другого закону термодинаміки живі організми перешкоджають загальному процесу зростання ентропії, а отже, і техногенній трансформації. Тобто, за підсумками змін функціонування параметрів самоочищення можна передбачити адаптаційні відгуки біоти на трансформації середовища їх існування оскільки відгук гідробіонтів на зміну середовища свого існування пов'язаний з енергетичними змінами у водних екосистемах (перший закон термодинаміки), які є необхідною складовою (анаболізм, катаболізм) у процесі реалізації механізму пластичного метаболізму хімічних сполук антропогенного походження, який забезпечує якісний склад середовища існування біоти на оптимальному рівні розвитку в умовах техногенних трансформацій (закон толерантності Шелфорда) і, перешкоджає переходу водної екосистеми до критичного стану.

Оскільки ділянка басейну р. Дніпра, як матеріальна система, утворена при взаємодії екологічних та антропогенних чинників, відповідно її інтегрований склад сприяє тому, що трофічні зв'язки і потоки енергії, як сукупність речовинно-енергетичного обміну, створюють умови еквівалентності у взаємозалежності і взаємодії чинників живої і неживої природи. Під впливом техногенних факторів відбуваються зміна взаємозалежності і взаємодії чинників живої і неживої природи і тому зміну у вигляді часткової витрати енергії можна розцінювати (другий закон термодинаміки) як міру незворотних деградаційних процесів у водному об'єкті.

Втрата рівноваги між взаємопов'язаними чинниками живої та неживої природи, призводить до змін біотичного потенціалу, який вказує на пристосувальні реакції гідробіонтів (генетичний статус) до біосинтетичних процесів у ТТВЕ (трофічний статус), що відображено на рис. 7.

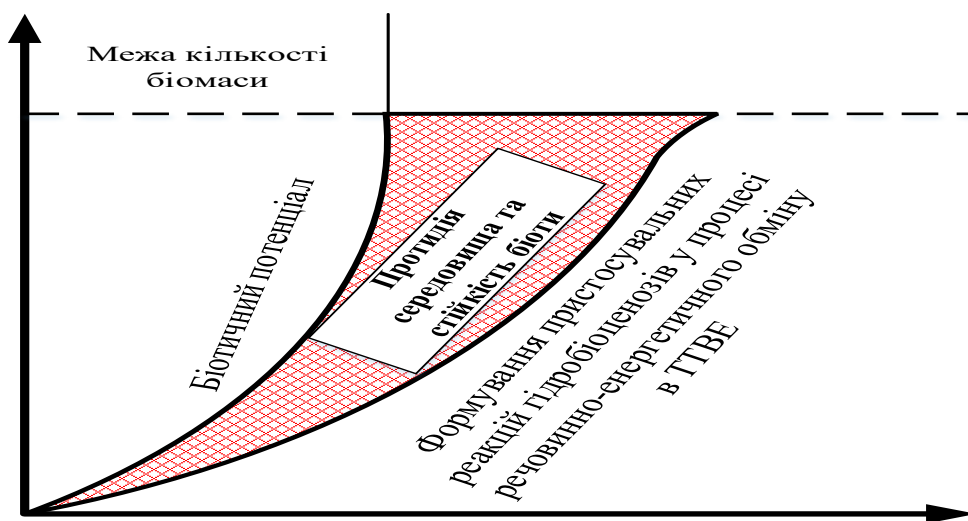


Рис. 7. Графічна модель пристосування біоти до техногенних змін

Із рисунка видно, що в техногенно змінених водних об'єктах, за рахунок амплітуди коливань пристосувальних реакцій біоти до змін середовища існування

створюються такі екологічні умови, за яких біотичні та антропогенні компоненти відповідають один одному. Тобто, у разі зміни середовища існування живих організмів відбуваються зміни компенсаційних можливостей біоти і їх пристосувальні реакції знаходяться на межі оптимальної біотичної саморегуляції водних екосистем.

Вирішальну роль у формуванні пристосувальних реакцій біоти відіграють взаємозв'язки та взаємодії екологічних та антропогенних чинників, завдяки яким у водних об'єктах створюються прямі та зворотні зв'язки, які пропорційні за величиною, але напрямлені протилежно і забезпечують процес самоочищення (рис. 8).

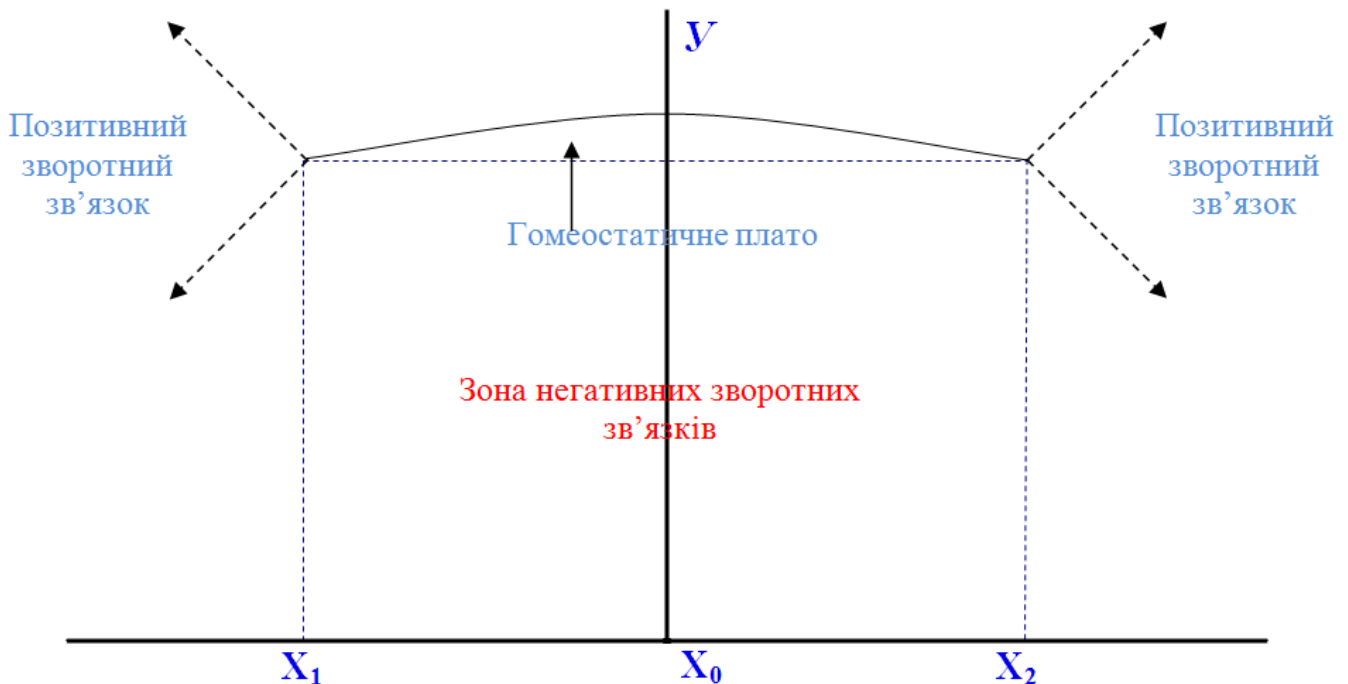


Рис. 8. Схема прямих та зворотних зв'язків у техногенно трансформованому водному об'єкті:  $y$  – індикатор екологічного резерву;  $x_0$  – рівень екологічного резерву як індикатора техногенних впливів;  $x_1$ - $x_2$  – зона гомеостазу

На рисунку 10  $y$  – властивості екосистеми: чим нижча ієрархія рівня «випуклість» більша і навпаки, чим вище ієрархія рівня, тим «випуклість» менше. Відносна константа функції « $y$ » у цій області називається гомеостатичним плато, яке являє собою оптимальні параметри водного об'єкта (« $y$ »), які коливаються у просторі і часі (залежить від багатофакторних техногенних впливів та інтенсивності компенсаційного механізму біотичної саморегуляції). Зона гомеостазу – зона негативних зворотних зв'язків, оскільки розвиток водного об'єкта спрямований у бік повернення системи у вихідний стаціонарний стан. За потужних порушень гомеостазу (наприклад, за умов якості вод V класу, брудні води) ТТВЕ може перейти до зони позитивних зворотних зв'язків, коли зміни, як наслідок техногенного навантаження, залишаються незворотними. Процеси гомеостазу, які характеризуються негативними зворотними зв'язками, можна віднести до екологічних постулатів, що характеризують оптимальні параметри і повинні використовуватись як орієнтир прогнозних розрахунків на перспективу розвитку

ТТВЕ. Значення  $x_1$  і  $x_2$  – критичне або порогове значеннями « $x$ », поза межами яких відбувається порушення гомеостазу. « $X_0$ » – характеризує відносно нормальне функціонування об'єкта (в межах якості води для певного їх класу).

Дослідивши гомеостатичність параметрів для гирлової ділянки р. Ірпінь, встановлено, що оптимальний режим водокористування характеризується високими критеріями інтенсивності компенсаційного механізму біотичної регуляції, внаслідок високої ефективності механізму пластичного метаболізму хімічних сполук антропогенного походження. Процес втрати природоємності має стабільний характер і біота до нього пристосувалась (переважає хронічна токсичність вод поряд з її відсутністю). Такий екологічний стан р. Ірпінь пов'язаний з розвитком ланцюгових реакцій за рахунок взаємодії екологічних чинників і дестабілізуючих чинників джерел забруднення, що зумовлює внутрішні функції гідробіонтів до нейтралізації надлишкових техногенних впливів.

Отримані результати дали змогу переглянути та розширити схему прямих та зворотних зв'язків при взаємодії екологічних та антропогенних факторів у ТТВЕ. Регуляторну функціональну блок-схему, яка характеризує взаємозв'язки надійності функціонування ТТВЕ внаслідок збереження екологічного балансу за біотичними показниками, показано на рис. 9.

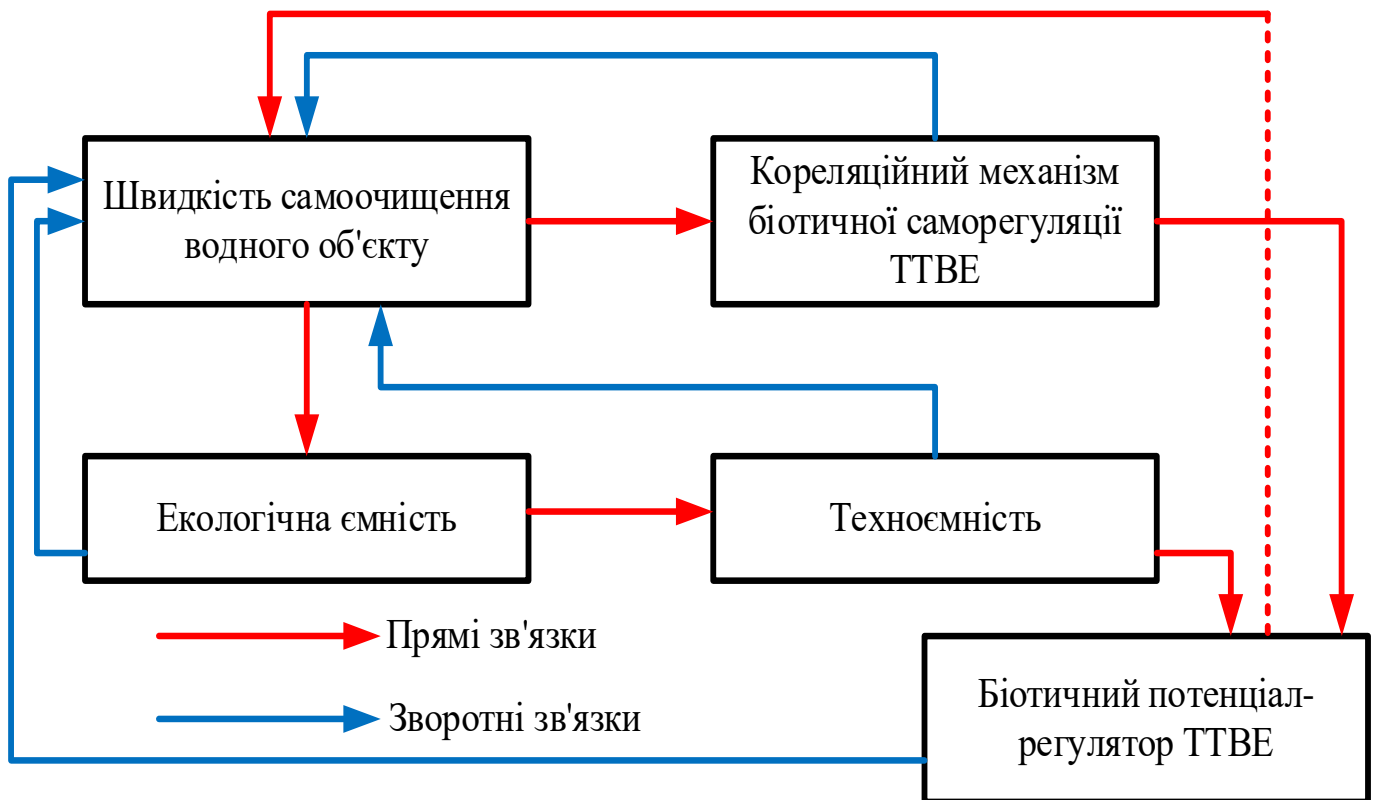


Рис. 9. Блок-схема особливостей біотичної саморегуляції ТТВЕ з врахуванням прямих та зворотних зв'язків її біотичних складових

Запропонована схема характеризує відповідь гідробіонтів на дію техногенних впливів – динаміку змін середовища свого існування (принцип від'ємних зворотних зв'язків). Оскільки за будь-яких відхилень екологічної рівноваги (оптимуму для



біоти) в екосистемах виникають зміни, які компенсують механізм біотичної саморегуляції, то швидкість відновлення техногенно заангажованих водних об'єктів порівняно з природним станом (у процесі дії дестабілізуючих техногенних впливів) пропорційна величині відхилень та узгодженості між прямими та зворотними зв'язками.

**П'ятий розділ** присвячено створенню сучасних науково-методичних основ інформативної інтегрованої системи контролю структурно-функціональних змін внутрішньоводоймних процесів, що дозволить реалізувати систему управління екологічною безпекою поверхневих водних об'єктів в умовах інтенсивного техногенного впливу за басейновим принципом. Необхідність у створенні інтегрованої системи індикаторного контролю обумовлена суперечливим ставленням до діючої системи екологічного нормування за ГДК як суб'єктивного способу контролю. За умов реалізації цієї системи нормативом передбачене забезпечення екологічної безпеки водокористування, а не екологічної безпеки поверхневих водних об'єктів. Наукові основи інформативної інтегрованої системи контролю адаптовані відповідно до моделі – PSR (Pressure-State-Response), яка запропонована OECD (Organization for Economic Cooperation and Development) та міжнародною екологічною програмою ООН – UNEP (United Nations Environment Program), і дозволяють реалізувати систему управління екологічною безпекою поверхневих водних об'єктів за рахунок того, що розроблена методика інтегрованої системи контролю спрямована на характеристику структурно-функціональних особливостей басейнів, які впливають на баланс екологічної ємності, компенсаційний механізм біотичної саморегуляції та відображають механізми деструкції процесів самоочищення.

Запропонована інформативна інтегрована система контролю включає в себе інтегровані екологічні індикатори: тривимірного контролю, екологічної відповідності структурно-функціональних можливостей, втрат («незворотності») процесу самоочищення, стійкості, ризику розвитку техногенних трансформацій.

Інформативні екологічні індикатори тривимірного контролю для одночасного застосування містять одразу три групи інтегрованих індикаторів: *індикатор «Дії»*, оцінює техногенний вплив на водний об'єкт, включає: індекс техногенного впливу, індекс пластичного метаболізму хімічних сполук, загальний екологічний індекс; *індикатор «Стану»*, оцінює стан водного середовища, спричинений техногенною дією, включає: індекс балансу екологічної ємності, індекс техноємності; *індикатор «Реагування»*, оцінює відгук водної екосистеми на порушення сталого функціонування і включає індекс біотичної саморегуляції вод, індекс екологічного резерву. Їх особливістю є можливість одночасного визначення: дії техногенного впливу, динаміки змін екологічного стану, наслідків техногенних трансформацій водних об'єктів з урахуванням просторово-часових чинників їх розвитку. Розрахунки інтегрованих екологічних індикаторів тривимірного контролю структурно-функціональних змін водних об'єктів наведено в табл. 5.

**Екологічні інтегровані індикатори контролю «Дія», «Стан», «Реагування»  
та результати їх розрахунків для р. Ірпінь**

Індекс	Характеристика індексу	Формула розрахунку індексу	Розрахунок для III клас якості вод	Розрахунок для IV клас якості вод
<i>Індикатор «Дії»</i>				
Індекс техногенного впливу	Характеризує понаднормативний техногенний вплив на водні об'єкти, який призводить до порушення їх стабільного, еколого-збалансованого функціонування	$I_{\text{тех.впл}} = \frac{C_{\text{заб.реч}}}{ГДК_{\text{заб.реч}}} \cdot K_{\text{самооч}}$ <p>де <math>C_{\text{заб.реч}}</math> – концентрація забруднювачів; <math>ГДК_{\text{заб.реч}}</math> – гранично допустима концентрація забруднювальної речовини</p>	$\frac{1,7-1,9}{1,8} *$	$\frac{2,0-2,5}{2,25}$
Індекс пластичного метаболізму хімічних сполук антропогенного походження	Відображає механізм метаболічного регресу водних об'єктів	$I_{\text{пл.мет.}} = \sum_{i=1}^n [K_{\text{самооч}} \cdot (K_{\text{рбіом}} \cdot \text{ХСК} \cdot I_{\text{тех.впл}}) \cdot K_{\text{зміш}}]$ <p>де <math>K_{\text{рбіом}}</math> – критерій біомаси, характеризує живучість гідробіоценозів за умов зміни середовища їх існування; <math>K_{\text{зміш}}</math> – коефіцієнт змішування річкових і забруднених вод; <math>\text{ХСК}</math> – хімічне споживання кисню, як кисневий еквівалент загальної кількості органічних речовин; <math>K_{\text{самооч}}</math> – коефіцієнт самоочищення</p>	$\frac{0,36-1,0}{0,68}$	$\frac{0,24-0,36}{0,30}$
<i>Індикатор «Стану»</i>				
Індекс екологічної ємності	Відображає здатність водної екосистеми адаптуватися до техногенних впливів за одиницю часу без порушення структурно-функціонального розвитку. Окреслює об'єм та межі можливого техногенного тиску, які здатен витримати конкретний водний об'єкт	$I_{\text{е.е.}} = \sum_{n=1}^n [K_{\text{рбіом}} \cdot \left( \frac{C_1 \cdot K_{\text{сам.1}} + C_2 \cdot K_{\text{сам.2}} + C_n \cdot K_{\text{сам.n}}}{n} \right)] \cdot K_{\text{зміш}}$ <p>де <math>K_{\text{рбіом}}</math> – критерій біомаси, характеризує живучість гідробіоценозів за умов зміни середовища їх існування; <math>I_{\text{сам}}</math> – індекс самоочищення; <math>C_1, C_2, C_n</math> – концентрація забруднюючих речовин; <math>n</math> – кількість забруднюючих речовин; <math>K_{\text{сам.n}}</math> – коефіцієнт самоочищення вод від забруднюючої речовини; <math>K_{\text{зміш}}</math> – коефіцієнт змішування річкових та стічних вод</p>	$\frac{26,5-35,0}{30,75}$	$\frac{13,3-26,4}{19,85}$

<i>продовження табл. 5</i>				
Індекс техноємності	Характеризує кількість речовини, яка розсіюється у водному середовищі та з часом нейтралізується	$I_{Т.е.} = \frac{I_{е.е.}}{I_{Тех.впл.}}$ де $I_{е.е.}$ – індекс екологічної ємності екосистеми; $I_{Тех.впл.}$ – індекс техногенного впливу	$\frac{15,0-18,0}{16,5}$	$\frac{6,7-7,12}{6,91}$
<i>Індикатор «Реагування»</i>				
Індексу екологічного резерву	Характеризує стійкість водної екосистеми та можливий рівень відновлення функціонування	$I_{ек.рез.} = I_{е.е.} - I_{Т.е.}$ де $I_{е.е.}$ – індекс екологічної ємності екосистеми; $I_{Т.е.}$ – індекс техноємності	$\frac{11,1-18,0}{14,55}$	$\frac{6,4-11,0}{8,7}$
Індекс біотичної саморегуляції	Відображає структурно-функціональні зміни в водних екосистемах	$I_{б.с.в.} = \sum_{i=n}^n \frac{I_{ек.рез.} \cdot I_{пл.мет.}}{v_{транс.}} \cdot K_{зміш.}$ де $I_{ек.рез.}$ – індекс екологічного резерву; $I_{пл.мет.}$ – індекс пластичного метаболізму, $K_{зміш.}$ – коефіцієнт змішування річкових і забруднених вод, значення якого залежить від розмірів річки; $v_{транс.}$ – швидкість трансформації забруднюючої речовини	$\frac{19,5-51,4}{49,75}$	$\frac{6,0-19,4}{12,7}$

Примітка: \*  $\frac{\text{мінімальне} - \text{максимальне}}{\text{середнє}}$

Аналіз наведених даних свідчить про наявність узгодженості між екологічними інтегрованими індикаторами тривимірного контролю: *індикатор дії* → *індикатор стану* → *індикатор реагування* на дію техногенних впливів.

Узагальнення результатів розрахунків дає підстави стверджувати, що за рахунок понаднормативних техногенних впливів відбулася втрата екологічної ємності (знижується до 13,3), що створило передумови для формування техноємності, наслідком чого стало зниження рівня залишкового екологічного резерву, необхідного для відновлення процесу самоочищення. Але, відповідно до законів розвитку екосистем, за довгостроковий період (10 років) проходить «певна еволюція» поверхневих водних екосистем унаслідок постійної модифікуючої дії техногенних впливів. У ході досліджень встановлено, що відбувається збереження залишкового екологічного резерву (екологічної ємності) р. Ірпінь, що сприяє відновленню інтенсивності механізму біотичної саморегуляції вод. За таких умов рівень екологічної безпеки для III класу якості вод є допустимим, а для IV класу – помірно-допустимим. Отже, за зменшення техногенного тиску на екосистему можливо стабільне її функціонування за рахунок реадaptaції біоти до нових умов існування, відповідно до принципу Ле Шательє-Брауна. Результати отриманих досліджень узгоджуються із законом Вернадського-Бауера, за яким екосистема зі

зниженим біорізноманіттям, що знаходиться у стадії стійкої нерівноваги, зміщує свій вплив на середовище існування біоти.

Для розширення рівня можливостей нормативного показника ІЗВ запропоновано додатково визначати індикатор екологічної відповідності структурно-функціональних можливостей ( $I_{e.v.}$ ), який є усередненим інтегрованим показником, що характеризує ефективність саморегуляції внутрішньоводоймних процесів у річці та її структурно-функціональні особливості. Для розрахунку запропонованого індикатора використані такі параметри: якісний склад, рівень спрощення біотичної структури, рівень самоочисної здатності водного об'єкта:

$$I_{e.v.} = \sum_{n=3}^n \varphi_1 \sum_{m=2}^m \varphi_2 \sum_{k=2}^k \varphi_3 \quad (4)$$

де  $\varphi_1$  – залежність функціонування водної екосистеми від їх якісного складу, враховуючи дані узагальненого екологічного індексу;  $\varphi_2$  – залежності функціонування водної екосистеми від рівня спрощення їх біотичної структури;  $\varphi_3$  – залежність функціонування водної екосистеми від рівня самоочисної здатності.

Результати розрахунків індикатора екологічної відповідності структурно-функціональних можливостей порівняно з рівнем забруднення води за ІЗВ та класом якості вод р. Ірпінь наведені в табл. 6.

Таблиця 6

#### Узагальнена екологічна характеристика р. Ірпінь за різними критеріями

Період дослідження	Якість річкових вод			Висновок про зміни механізму біотичної саморегуляції
	Рівень забруднення води за ІЗВ	Клас якості вод	$I_{e.v.}$	
2010 р.	3,51 (забруднена)	IV	5,13	Порушення саморегуляції
2011 р.	3,95 (забруднена)	IV	5,9	Порушення саморегуляції
2012 р.	2,60 (забруднена)	IV	8,1	На межі перевищення компенсаційних можливостей
2013 р.	2,83 (забруднена)	IV	7,1	На межі перевищення компенсаційних можливостей
2014 р.	2,91 (забруднена)	IV	5,4	Порушення саморегуляції
2015 р.	2,73 (забруднена)	IV	4,9	Порушення саморегуляції
2016 р.	2,39 (забруднена)	IV	6,7	На межі перевищення компенсаційних можливостей
2017 р.	1,95 (помірно забруднена)	III	9,6	На межі перевищення компенсаційних можливостей
2018 р.	2,48 (забруднена)	IV	8,2	На межі перевищення компенсаційних можливостей

За такого рівня техногенного впливу відбувається часткове вичерпання природних ресурсів унаслідок змін структурно-функціональних можливостей водної екосистеми. Водночас за останні роки (2016–2018 рр.) спостерігається період, який характеризується покращенням екологічної ситуації та підвищенням індикатора екологічної відповідності спеціалізованої підсистеми р. Ірпінь.

Еколого-небезпечний розвиток техногенно трансформованого поверхневого водного об'єкта зводиться до порушення динамічної рівноваги, за рахунок втрати водною екосистемою здатності до процесу самовідновлення, спричиненою техногенною трансформацією, яка пов'язана з впливом на ефективність механізму пластичного метаболізму (біосинтезом) хімічних сполук. Для цього, розроблено індикатор втрат (незворотності) процесу самоочищення ( $I_{\text{втрати}}$ ), який запропоновано визначати за формулою:

$$I_{\text{втрати}} = \sum_{n=1}^i r_i \sum_{n=i}^k r_k \sum_{n=1}^m r_m, \quad (5)$$

де  $r_i$  – коефіцієнт виживаності біоти (за критерієм Стюдента);  $r_k$  – втрати неживої природи за індексом техногенних впливів;  $r_m$  – ефективність механізму пластичного метаболізму хімічних сполук.

Отримані результати розрахунку індикатора втрат процесу самоочищення (за двадцятирічний період) свідчать, що він становить для помірно-забруднених вод – 7,3; для забруднених вод – 18,6 і вказує на порушення процесу самоочищення на гирловій ділянці р. Ірпінь.

Стійкість поверхневих водних об'єктів до інтенсивного техногенного навантаження формалізована за алгоритмом визначення індикатора стійкості водних екосистем ( $I_{\text{стійкості}}$ ):

$$I_{\text{стійкості}} = \sum \frac{[\text{ПУВП}] + [\text{TУВП}] \cdot K_{\text{рМБС}}}{[\text{ПС}] + [\text{ТС}] \cdot K_{\text{рМБС}}} \quad (6)$$

де ПУВП – природні умови внутрішньоводоймних процесів; ТУВП – техногенні умови внутрішньоводоймних процесів; ПС – природна стійкість водних об'єктів; ТС – техноприродна стійкість водних об'єктів;  $K_{\text{рМБС}}$  – критерій механізму біотичної саморегуляції для природних водних об'єктів і техногенно трансформованих.

Стійкість до дії техногенних впливів гирлової ділянки спеціалізованої підсистеми комплексної водної системи басейну Дніпра – р. Ірпінь характеризується градацією – 2,4, що майже узгоджується з адаптивною функцією розвитку поверхневої водної екосистеми – 2,1. Розрахунки екологічної стійкості стану гирлової ділянки р. Ірпінь підтвердили результати попередніх досліджень і переконали, що стійкість пропорційна інтенсивності компенсаційного механізму

біотичної саморегуляції для даної екосистеми знижена, але не трансформована цілком.

Маючи кількісні характеристики техногенних трансформацій спеціалізованих підсистем ділянки басейну Дніпра, було розраховано індикатор середнього ризику розвитку техногенних трансформацій ( $I_{\text{ризик}}^{\text{розвитку}}_{\text{ТТ}}$ ) який враховує структурно-функціональні особливості щодо часткової втрати природоємності і визначається за алгоритмом досліджень:

$$I_{\text{ризик}}^{\text{розвитку}}_{\text{ТТ}} \equiv \sum \left[ \frac{(ПУ_{\text{ПВО}}) + (ТУ_{\text{ПВО}})}{(ПС_{\text{ПВО}}) + (ВС_{\text{ТТВО}})} \right], \quad (7)$$

де  $ПУ_{\text{ПВО}}$  – природні умови поверхневих водних об'єктів (через відсутність в Україні II класу якості вод – чисті води використані показники для III класу якості вод – помірно забруднені);  $ТУ_{\text{ПВО}}$  – техногенні умови поверхневих водних об'єктів;  $ПС_{\text{ПВО}}$  – природна стабільність поверхневих водних об'єктів;  $ВС_{\text{ТТВО}}$  – відносна стабільність техногенно трансформованих водних об'єктів.

Кількісна характеристика індикатора ризику розвитку техногенних трансформацій гирлової ділянки р. Ірпінь має такий результат: для IV класу якості вод – 1,25, для V класу якості вод – 2,8. Установлено, що для раціонального водокористування басейну річки може бути задіяна система з низьким середнім ризиком екологічної небезпеки. За умов щодо функціонування гирлової ділянки р. Ірпінь лише у 2 % випадків потенційно-можливі виникнення нестійкої екологічної рівноваги їх розвитку.

Моделювання процесів імовірних екологічно-небезпечних станів визначено як:

$$q_x(\Delta t) = p(x_{\min} < x_{\max}) = \int_{x_{\min}}^{x_{\max}} f(x_i) dx_i, \quad (8)$$

де  $q(\Delta t)$  – імовірність знаходження значень індикатора « $x$ » у межах певного параметра протягом часового інтервалу « $t$ »;  $x_{\min}$  та  $x_{\max}$  – відповідно верхнє і нижнє значення середнього індикатора ризику « $x$ », що обмежує діапазон його еколого-допустимих значень;  $f(x_i)$  – щільність розподілу « $x$ »

Отримано діапазон перетворень значень, вихід за межі яких свідчить про появу небажаних змін екосистемних процесів. Імовірність цих змін тим менша, чим ширший діапазон їх коливань та чим далі від його меж знаходиться значення індикатора « $x_i$ ». Для брудних вод знаходиться в межах 0,6–0,8, для забруднених вод – у межах 0,4–0,6.

Зазначений порядок змін еколого-небезпечних станів та їх обґрунтування підтверджують достовірність та вірогідність індикатора середнього ризику розвитку процесів техногенних трансформацій. Отримані результати функціональних змін узгоджуються з змінами гідрохімічних та гідрологічних показників, а саме:

реалізується позитивно гідрохімічна залежність у більшості випадків стану водних об'єктів,  $C_{max} \leq C_{min}$ ; зменшується матеріальна кумуляція у донних відкладах та переходить у матеріально-функціональну, що забезпечує збереження екологічного резерву та знижує ймовірність виникнення втрат процесу самоочищення.

За результатами досліджень ділянки басейну Дніпра внесені доповнення до класифікації груп понять, які в інженерній екології характеризують техногенні впливи за категоріями: 1) виживаність біоти як здатність біоти адаптуватись до змін середовища свого існування; 2) рівновага у водних екосистемах та її порушення унаслідок змін природних та антропогенних чинників; 3) стабільність розвитку водного об'єкту, як факторна ознака еквівалентності факторів живої і неживої природи; 4) екологічна небезпека як факторна ознака формування ризиків у техногенно трансформованих поверхневих водних об'єктах. Зазначену класифікацію модифіковано і доповнено з урахуванням структурно-функціональних показників водних об'єктів і вперше теоретично та експериментально обґрунтовано область застосування визначених питомих показників максимально допустимих рівнів параметрів та на їх основі побудовано інтегральну індикаторну кількісну шкалу величин-градацій стану поверхневих водних об'єктів (рис. 10).

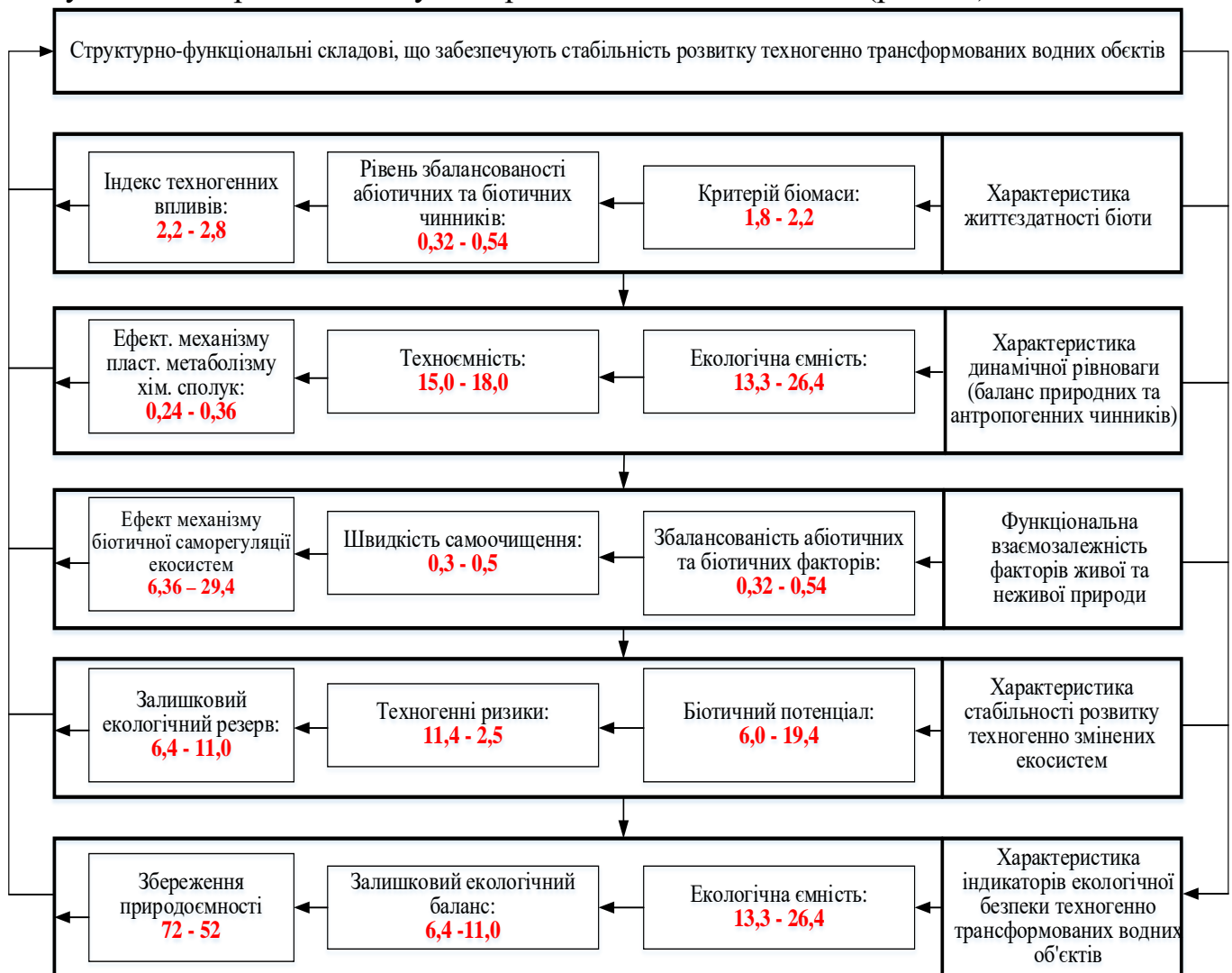


Рис. 10. Інтегральна індикаторна шкала динамічної характеристики стану ділянки басейну річки Дніпра

Розроблена шкала динаміки змін екологічних показників стану техногенно трансформованих поверхневих водних об'єктів може бути застосована у системі управління екологічною безпекою малими річками України. А відповідно до басейнового принципу управління, з урахуванням ієрархічних рівнів розвитку водних екосистем, покращення стану малих річок неминуче приведе до відновлення якісних характеристик середніх та великих річок України.

**Шостий розділ** присвячено розробленню, апробації та впровадженню системи керування процесами самоочищення техногенно трансформованих басейнів річок за рахунок біоінженерної системи інтенсифікації компенсаційного механізму біотичної саморегуляції. Водні об'єкти різних ієрархічних рівнів організації розглядаються як взаємопов'язана цілісна структура – водні маси, донні відкладення, біотична складова. Відповідно, і система керування їх екологічною безпекою спрямована на відновлення якісних характеристик водної товщі, донних відкладень та створення оптимальних умов існування біоти, що дозволить підвищити інтенсивність механізму біотичної саморегуляції водних об'єктів в умовах інтенсивного техногенного навантаження.

Попередньо розроблені численні концепції зменшення техногенного тиску на водні екосистеми кардинально проблему не вирішили, оскільки у більшості запропонованих водоохоронних заходів основна увага приділялась технічним засобам керування наслідками техногенних впливів, а не природним механізмам самоочищення. Створення ж високопродуктивних біоінженерних систем, функціонування яких засноване на природних механізмах відновлення, сприяє інтенсифікації компенсаційного механізму біотичної саморегуляції. Технічна складова біоінженерних систем має максимально сприятливі для життєдіяльності і розвитку гідробіонтів конструкції. Однією з основних умов екологічної врівноваженості водної екосистеми є її здатність підтримувати стабільне функціонування біоти завдяки механізму пластичного метаболізму хімічних сполук. Втручання людини в біоінженерні системи необхідно лише на початковому етапі функціонування, а далі система сама збільшить біологічну квоту, що і дозволить їй самовідновитися та чинити опір техногенному тиску системи втручання.

Поліпшення рівня екологічної безпеки техногенно трансформованих, якісно виснажених басейнів, пропонується за рахунок збільшення площі фітокомпоненти біоінженерної системи, яка складається із двох структурно-функціонально взаємопов'язаних блоків: берегового та наплавного. Висока здатність макрофітів до біокумуляції та здійснення симбіотичних зв'язків з гідробіонтами дала можливість застосовувати їх як природні біофільтри. Окрім збільшення площі фітокомпоненти, їх конструктивне поєднання змінює гідродинамічні потоки дифузійного розсіювання бактеріоперефітону, що приводить до інтенсифікації процесу самоочищення поверхневих водних об'єктів.

Основними характеристиками запропонованої біоінженерної споруди є: загальна площа, відведена під рослини; видовий склад і чисельність вищих водяних рослин на 1 м<sup>2</sup>. Пілотна установка розробленої біоінженерної системи в лабораторних та натурних умовах на р. Нивці досліджувалась у 2016–2018 рр. Технічне рішення запропонованої біоінженерної системи показано на рис 11.



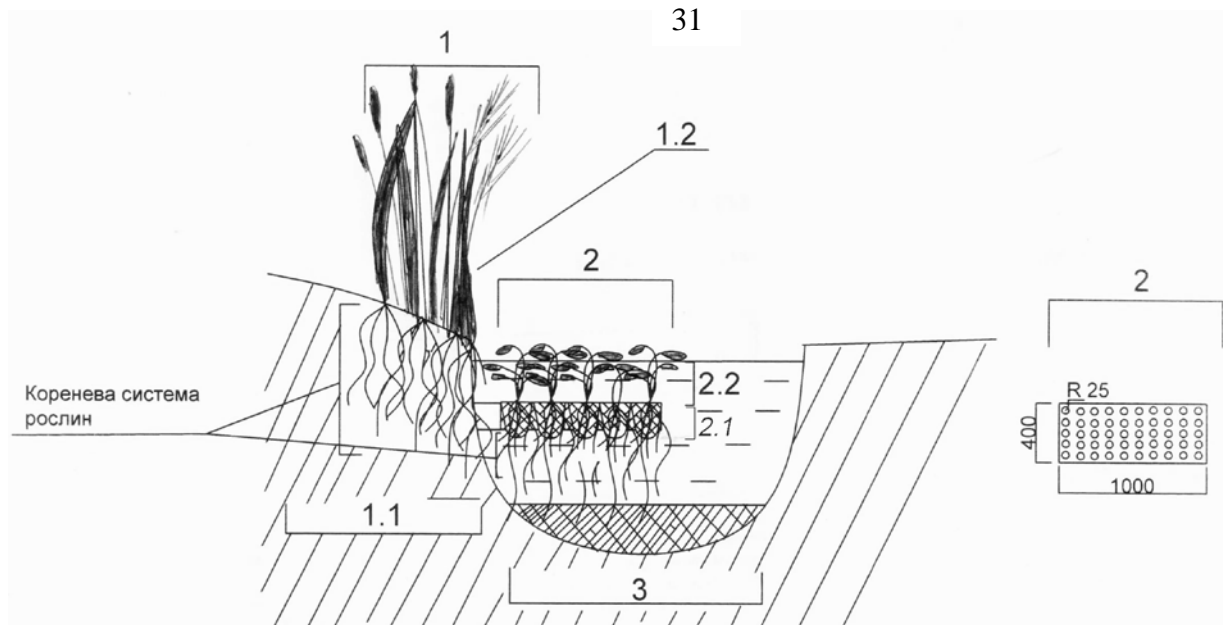


Рис. 11. Біоінженерна система інтенсифікації механізму біотичної саморегуляції: 1 – береговий блок, 1.1 – прибережна зона, 1.2 – рослини-гідрофіти; 2 – наплавний блок, 2.1 – решітка із синтетичного матеріалу з патрубками для рослин-гідрофітів, 2.2 – занурена у товщу води частина рослин; 3 – донна товща

Зображені на рисунку два блоки (береговий і наплавний) функціонують так: **береговий блок** функціонує як біологічний фільтр; у разі надходження забруднювачів у прибережну систему – забезпечує управління формуванням якості води за рахунок самих біоценозів – ценозів рослин та асоційованих з ними угруповань бактеріо-, фіто- зооперифітону, планктону, бентосу, риби; **наплавний блок** – функціонує як додаткова проміжна, природна буферна система, яка забезпечує управління процесом самовідновлення за рахунок очищення водного шару та донних відкладень. Це і відрізняє запропоновану конструкцію від існуючих, що підтверджено свідоцтвом про реєстрацію авторських прав на твір (№ 67248) та патентами на корисну модель (№ 107555 та №117067).

Для конструювання берегового блоку використовувались водяні рослини з широким діапазоном екологічної валентності – еврибіонти з достатньо високою акумулятивною здатністю та швидкістю росту. До них належать: очерет звичайний (*Phragmites australis* C.), рогоз широколистий (*Typha latifolia*), рогоз вузьколистий (*Typha angustifolia* L.) та комиш озерний (*Scirpus palustris* L.). Ці рослини стали основною складовою берегового блоку внаслідок того, що значна частина берегової смуги ділянки басейну Дніпра, що досліджувалась, щільно вкрита заростями саме цих рослин-аборигенів. До того ж, у лабораторних умовах встановлено, що акумуляційна здатність очерету звичайного становить:  $Mn^{2+}$  – 0,03 мг/кг,  $Zn^{2+}$  – 19,4 мг/кг,  $Fe_{заг}$  – 0,007 мг/кг,  $Mg^{2+}$  – 0,12 мг/кг. Акумуляційна здатність комишу озерного становить:  $Mn^{2+}$  – 0,02 мг/кг,  $Zn^{2+}$  – 18,7 мг/кг,  $Fe_{заг}$  – 0,004 мг/кг,  $Mg^{2+}$  – 0,10 мг/кг. Дослідження показали, що оптимальна щільність заростей очерету звичайного та комишу озерного для досягнення ефективного відновлення інтенсивності механізму біотичної саморегуляції становить 10–15 рослин на 1 м<sup>2</sup>, рогозу широколистого та вузьколистого – 7–12 рослин на 1 м<sup>2</sup>, залежно від рівня забруднення вод. Відповідно, щільність рослин берегової зони повинна коливатись у

зазначених межах. Якщо щільність буде меншою – зарості не будуть виконувати функцію біофільтра, якщо щільність буде більшою – це сприятиме уповільненню течії, замуленню, підвищенню процесів транспірації та випаровуванню води, що є небажаними чинниками для відновлення механізму біотичної саморегуляції. На ділянці р. Нивки, на якій було апробовано біоінженерну систему, щільність макрофітів не відповідала зазначеному діапазону, і тому виконувалось прорідження заростей, щоб унеможливити небажаний вищезазначений вплив та створити умови, за яких береговий блок виконуватиме функцію біофільтра.

Для конструювання наплавного блоку в лабораторних умовах, здійснювався скринінг вищих водяних рослин, які здатні проростати в зануреному стані без укорінення (не контактуючи з донною товщою). Результати численних досліджень дозволили визначити найбільш придатні види, які мають значну адаптаційну можливість та метаболічну активність в умовах інтенсивного надходження техногенних впливів. Найкращу швидкість та здатність проростання в зануреному стані без укорінення в донну товщу серед досліджуваних рослин мають: рдесник кучерявий (*Potamogeton crispus* L.) та рдесник пронизанолистий (*Potamogeton perfoliatus* L.). Наплавний блок з висадженими в ньому зазначеними макрофітами, розміщувався у береговій смузі на відстані 20 см від берегового блоку та на глибині 0,5-0,8 м зі щільністю посадки 10–20 екз./м<sup>2</sup>. Конструкція складалась із блоків, виготовлених з екологічно-інертного, синтетичного водонепроникного матеріалу з патрубками для посадки рослин (рдесник кучерявий, рдесник пронизанолистий). Патрубки допомогли спрямувати зростання водяних рослин у зануреному стані та з часом укорінитися. Кожний наплавний блок мав розміри 60–120x25–40x5–15 см, діаметр патрубків 5 см. Закріплення з береговим блоком здійснювалось за допомогою синтетичних шнурів та поліпропіленових труб.

У лабораторних умовах на пілотній установці було здійснено оцінювання ефективності роботи біоінженерної системи. Отримані результати свідчать, що штучно створений біоценоз із вищих водяних рослин та мікроорганізмів-деструкторів здатний ефективно керувати інтенсивністю механізму біотичної саморегуляції, відновлюючи якість води та донних відкладів (табл. 7).

Таблиця 7

**Усереднені результати ступеня очищення води та донних відкладень на запропонованій біоінженерній системі**

Показник	Ступінь очищення води та донних відкладень на розробленій біоінженерній системі		
	До застосування біоінженерної конструкції	Після застосування біоінженерної конструкції	Очищення, %
<i>Очищення води</i>			
БСК <sub>5</sub> , мгО <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup>	$\frac{3,94-6,10}{5,02}$	$\frac{2,7-4,63}{3,66}$	27,0
ХСК, мгО <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup>	$\frac{18,37-36,03}{27,20}$	$\frac{15,5-23,0}{19,25}$	29,3
NH <sub>4</sub> , мгN <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup>	$\frac{0,81-2,96}{1,88}$	$\frac{0,39-0,61}{0,5}$	73,4

<i>продовження табл. 7</i>			
NO <sub>2</sub> , мгN <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup>	<u>0,04–0,09</u> 0,065	<u>0,01–0,03</u> 0,02	69,3
NO <sub>3</sub> , мгN <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup>	<u>3,82–5,56</u> 4,96	<u>2,73–3,95</u> 3,34	33,0
Cu <sup>2+</sup> , мг/дм <sup>3</sup>	<u>1,18–1,76</u> 1,47	<u>0,12–0,06</u> 0,09	93,8
Zn <sup>2+</sup> , мг/дм <sup>3</sup>	<u>0,87–1,21</u> 1,04	<u>0,03–0,09</u> 0,06	94,2
Нафтопродукти, мг/дм <sup>3</sup>	<u>1,47–1,83</u> 1,65	<u>0,23–0,31</u> 0,35	78,8
Токсичність ( <i>Daphnia magna S.</i> ), %	Хронічна токсичність	Токсичність відсутня	Токсичність відсутня
<i>Очищення донних відкладів</i>			
Cu <sup>2+</sup> , мг/дм <sup>3</sup>	0,3±0,001	0,23±0,001	23,0
Zn <sup>2+</sup> , мг/дм <sup>3</sup>	0,31±0,04	0,15±0,03	51,6
Cr <sup>6+</sup> , мг/дм <sup>3</sup>	0,086±0,1	0,061±0,07	29,0
Нафтопродукти, мг/дм <sup>3</sup>	19,8±1,2	16,5±1,7	16,6
Токсичність ( <i>Daphnia magna S.</i> ), %	Хронічна токсичність	Токсичність відсутня	Токсичність відсутня

Оцінка отриманих результатів свідчить, що ефективні гідрохімічні перетворення відбуваються за рахунок високого рівня відновлення якості вод від мінеральних та органічних речовин. Так, за показниками БСК<sub>5</sub> ступінь очищення становить 27 %, за ХСК – 15,5 %, за вмістом мінерального азоту – 73 %, за вмістом сполук металів токсичної дії ступінь очищення в середньому становить 94 %, за вмістом нафтопродуктів – 78 %. Ступінь очищення донних відкладень від сполук металів токсичної дії становить від 23–51,6 %.

Результати біотестування (на *Daphnia magna S.*) також підтверджують позитивні якісні зміни. Встановлено, що функціонування біоінженерної системи приводить до переходу водного середовища з токсичного стану в нетоксичний. Ураховуючи басейновий принцип, для управління екологічною безпекою ділянки басейну Дніпра це є вкрай важливим результатом, оскільки відсутність токсичності водного середовища – середовища існування біоти, має вирішальне значення для розвитку гідробіонтів, які безпосередньо впливають на ефективність механізму пластичного метаболізму хімічних сполук антропогенного походження.

Біоінженерна система, взаємопов'язаними елементами якої є береговий та наплавний блок, як управляюча система керування з мінімальним втручанням людини, за рахунок своїх структурно-функціональних особливостей організації та за екосистемним принципом сприятиме відновленню інтенсивності компенсаційного механізму біотичної саморегуляції та забезпечить екобалансований розвиток басейнів, що підлягають інтенсивному техногенному впливові в умовах постійного надходження забруднювачів. Конструктивне поєднання берегового та наплавного блоків в єдину біоінженерну систему забезпечує рух потоку в горизонтальній та вертикальній площинах, змінюючи гідродинамічні потоки дифузного розсіювання бактеріоперефітону, що своєю чергою приводить до покращення саморегуляції приповерхневого, придонного шарів води, донних відкладень у межах та поза

межами розташування біоінженерної системи. Перевагами поєднання наплавного і берегового блоків в єдину комплексну систему є досягнення таких можливостей: ефективного очищення ТТВЕ, зумовленого комплексом фізичних, хімічних і біологічних процесів, стабільних навіть у зимовий період; ефективного видалення органічних сполук (зниження показників БСК<sub>5</sub>, ХСК), зважених речовин, сполук азоту і фосфору; підвищення буферності (за рахунок збільшення площі фітокомпоненти), завдяки якій система здатна витримувати інтенсивний техногенний вплив; керування процесом формування якості води на основі селективності рослин щодо різного типу забруднювачів; простоти реалізації технічного рішення і низьких витрат на експлуатацію (використовують сонячну енергію, низькі капітальні та експлуатаційні витрати під час спорудження та експлуатації); модифікації – у разі потреби розширення чи переобладнання; адаптації розроблення для очищення поверхневих і стічних вод, індивідуальних користувачів і невеликих населених пунктів, великих промислових підприємств. Зазначені переваги біоінженерної системи сприяють удосконаленню форм басейнового принципу управління екологічною безпекою поверхневих водних об'єктів, оскільки запропонована фітотехнологія може бути успішно застосована для інших річок України з високим рівнем техногенного навантаження.

Схематичне зображення запропонованої системи удосконаленої екологічною безпекою техногенно трансформованих водних об'єктів на прикладі ділянки басейну р. Дніпра показано на рис. 12.

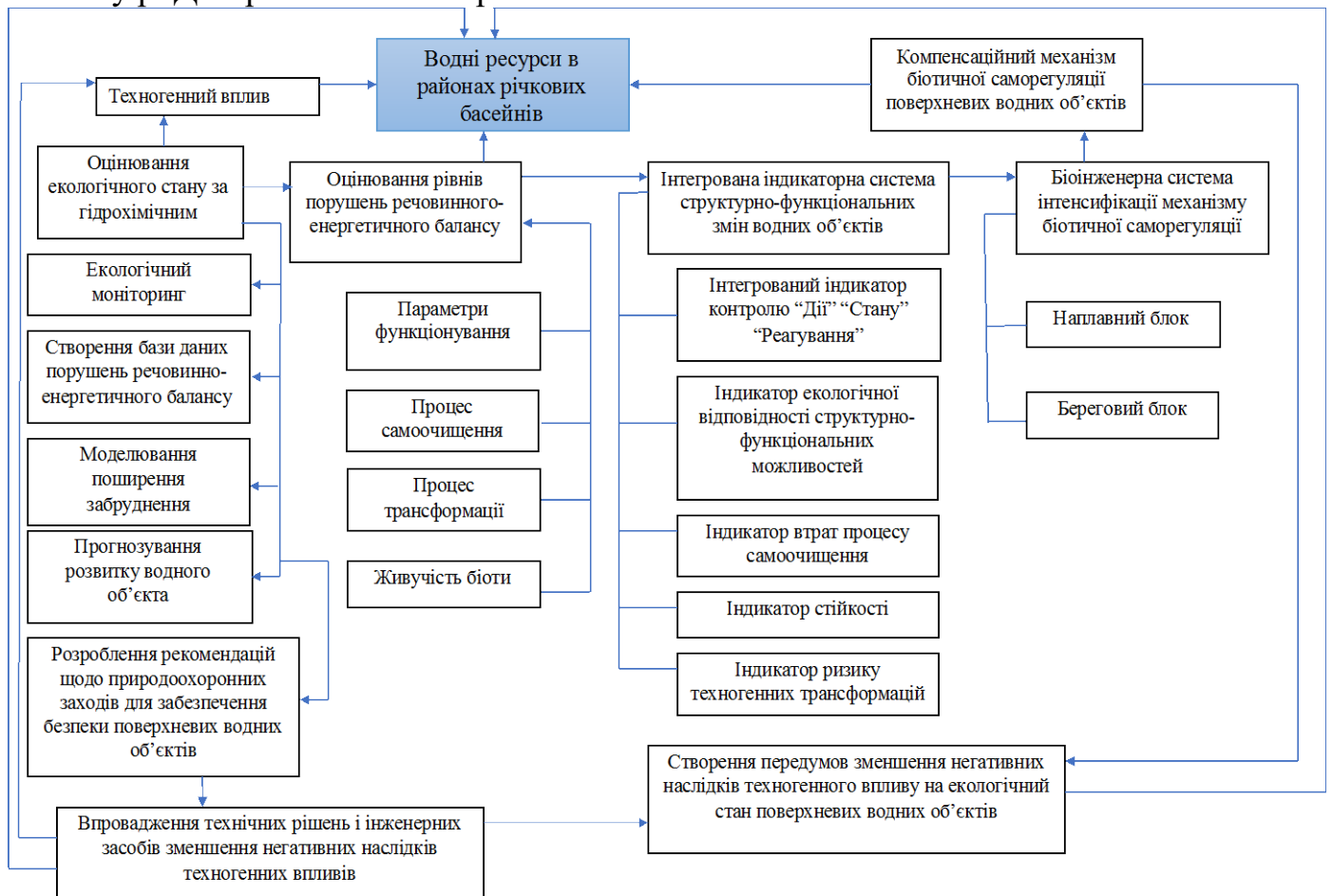


Рис. 12. Схематичне зображення розробленої удосконаленої системи управління екологічною безпекою техногенно трансформованих водних об'єктів

Таким чином, створено передумови зниження негативних наслідків техногенного впливу на екологічний стан поверхневих водних об'єктів та на якість водних ресурсів в районах річкових басейнів.

## ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі, яка є завершеною самостійно виконаною науковою працею, наведено вирішення актуальної наукової проблеми розвитку наукових основ управління екологічною безпекою поверхневих водних об'єктів за басейновим принципом, які враховують закономірності впливу природно-техногенних чинників на процес формування їх техногенно трансформованого стану та інтенсивність компенсаційного механізму біотичного саморегулювання, що є передумовою зниження негативних наслідків техногенного впливу на екологічний стан річкових басейнів. При цьому одержано наукові та практичні результати, які викладено нижче.

1. За результатами проведеного аналізу основних причин та наслідків техногенного впливу на екологічний стан поверхневих водних об'єктів виявлено, що в Україні більшість річок (майже 88 %) характеризуються екологічним станом, який класифікується як «поганий», «дуже поганий» та «катастрофічний». Однією з основних причин погіршення екологічного стану річкових басейнів України є порушення їх речовинно-енергетичного балансу внаслідок зниження інтенсивності компенсаційного механізму біотичної саморегуляції та втрати стійкості до дії техногенних чинників.

Висунуто ідею, що зниження негативних наслідків техногенного впливу на екологічний стан районів річкових басейнів може бути досягнуто шляхом застосування удосконаленого басейнового принципу управління їх екологічною безпекою, на підґрунті наукових основ, які враховують закономірності впливу природно-техногенних чинників на процес формування їх техногенно трансформованого стану та інтенсивність компенсаційного механізму біотичного саморегулювання.

2. Обґрунтовано методологію, методики і теоретичні та експериментальні методи проведення дисертаційних досліджень. Теоретичні методи передбачали: аналіз узагальнення основних причин та наслідків техногенного впливу на екологічний стан поверхневих водних об'єктів в Україні; інтерпретації отриманих результатів; статистично-математичні методи для оброблення експериментальних даних; методи математичного моделювання просторово-часового розподілу забруднювачів у поверхневих водних екосистемах, математичного прогнозування та гідроаналітичні методи. Серед експериментальних методів у лабораторних умовах застосовано традиційні гідрохімічні, гідробіологічні, токсикологічні та фізико-хімічні методи вимірювання параметрів забруднення водного середовища. У польових умовах для встановлення здатності макрофітів проростати в наплавному блоці біоінженерної системи інтенсифікації компенсаційного механізму біотичної саморегуляції застосовано метод спостереження.

3. За результатами досліджень екологічного стану малої р. Нивки встановлено, що зміна речовинно-енергетичного балансу водного середовища

суттєво впливає на процес формування її техногенно трансформованого стану. Також встановлено, що під впливом гальмування реакції нітрифікації у водоймі утворюються вторинні зони забруднення та формується матеріально-функціональна кумуляція за рахунок збільшення маси донних відкладень та зниження самовідновної здатності річки до 0,2 ум. од. унаслідок зниження інтенсивності компенсаційного механізму біотичної саморегуляції.

За результатами біотестування встановлено, що через порушення взаємодії між біотичною і абіотичною складовими водного середовища р. Нивки токсичність для *Daphnia magna* S. у поверхневому, придонному шарі, донних відкладеннях мають значення – 65 %; 75 %; 80 % відповідно, для *Allium cepa* L. аналогічні показники мають значення 60 %; 55 %; 78 % відповідно, а для *Lactuca sativa* L. – 58 %; 60 %; 82 % відповідно.

4. Встановлено, що визначальним чинником формування техногенних перетворень гирлової ділянки середньої р. Ірпінь є екологічний стан малої р. Нивки. Доведено, що азот амонійний належить до найбільш значимих параметрів абіотичних чинників, який обумовлює інтенсивність окисно-відновних процесів та є лімітуючим чинником для ряду гідробіонтів. Встановлено, що за загальним екологічним показником, якість води гирлової ділянки р. Ірпінь у 98 % випадках належить до VI класу – забруднена, у 2 % – помірно-забруднена вода – III клас. Доведено, що за таких умов динамічна рівновага у водному об'єкті внаслідок ушкоджуючої дії екотоксикантів антропогенного походження порушена, а не трансформована цілком, а механізм біотичної саморегуляції знаходиться на межі внутрішньої взаємодії екологічних та антропогенних чинників. Показано, що незважаючи на IV клас якості вод ділянки середньої р. Ірпінь її, структурно-функціональні зміни не впливають негативно на прибережну екосистему зони Київського водосховища (басейн р. Дніпра).

За результатами проведеного аналізу виявлені причини і наслідки порушень речовинно-енергетичного балансу та створено відповідну базу даних.

5. На основі прогнозування змін речовинного балансу та метаболічної і екологічної спроможності за компенсаційним механізмом біотичної саморегуляції науково обґрунтовано динаміку просторово-часових змін екологічного стану поверхневих водних об'єктів на прикладі ділянки басейну р. Дніпра. Доведено, що механізм біотичної саморегуляції вод є інтегральним показником механізму інтенсивності внутрішньоводойменних процесів. Встановлено, що для р. Ірпінь інтенсивність механізму біотичної саморегуляції становить 17,0 ум. од. Отримані значення знаходяться в межах екологічної ніші, характерної для техногенно трансформованих водних об'єктів, яка являє собою не лише фізичний простір для функціонування гідробіонтів, але й створює умови для екосистемних процесів (трофічний статус).

6. Науково обґрунтовано, що техногенні трансформації у поверхневих водних об'єктах нівелюються за рахунок дії компенсаційного механізму біотичної саморегуляції в результаті адаптації біотичних складових до свого нового середовища існування. Також обґрунтовано тенденції функціональних змін параметрів процесу самоочищення та їх питомих показників за біотичним потенціалом в умовах постійного техногенних впливів та встановлено

закономірності їх функціонування за швидкістю самоочищення:  $2,3 \leq$  біотичний потенціал  $\leq 3,0$ ; за екологічною ємністю:  $13,3 \leq$  біотичний потенціал  $\leq 27,5$ ; за ефективністю механізму пластичного метаболізму хімічних сполук:  $1,0 \leq$  біотичний потенціал  $\leq 3,0$ ; за інтенсивністю компенсаційного механізму біотичної саморегуляції:  $12,0 \leq$  біотичний потенціал  $\leq 26,0$ .

7. Науково обґрунтовано узгодженість взаємозв'язків та взаємодій параметрів процесу самоочищення поверхневих водних об'єктів, запропоновано градації параметрів їх перетворень у техногенно трансформовані: перша – зміна речовинно-енергетичного балансу речовин техногенного походження за індивідуальними та сумарними показниками; друга – зміна ефективності механізму пластичного метаболізму хімічних сполук антропогенного походження (синтез та трансформація хімічних сполук); третя – нестійка динамічна рівновага у водному об'єкті внаслідок ушкоджуючої дії екотоксикантів антропогенного походження (коли механізм біотичної саморегуляції знаходиться на межі взаємодії екологічних та антропогенних чинників); четверта – (типова для малих річок) перетворення абіотичного середовища, яке оточує біоту; п'ята – порушення відносної стабільності розвитку водного об'єкта (компенсаційні механізми біотичної саморегуляції не в змозі позитивно реагувати на антропогенні зміни і в результаті відбувається якісне виснаження вод внаслідок техногенної трансформації).

8. Обґрунтовано перелік індикаторів, спроможних у сукупності відслідковувати структурно-функціональні зміни внутрішньоводоймних процесів та з їх застосуванням розробити систему управління екологічною безпекою поверхневих водних об'єктів. Розроблено науково-методичні рекомендації щодо реалізації інформативної інтегрованої системи індикаторів контролю структурно-функціональних змін внутрішньоводоймних процесів. Установлено, що розроблена інформативна інтегрована система індикаторів контролю структурно-функціональних змін внутрішньоводоймних процесів як елемента системи управління екологічною безпекою поверхневих водних об'єктів відповідає системі керування екологічною безпекою ТТВЕ та є адаптованою до моделі Міжнародної екологічної програми UNEP. Виявлено, що для ділянки басейну р. Дніпро втрати екологічної ємності (знижується до 13,3), що створило передумови для формування техноємності, внаслідок чого знизився рівень залишкового екологічного резерву, необхідного для інтенсифікації процесу самоочищення.

9. Встановлено, що створені інтегровані індикатори контролю управління екологічною безпекою ТТВЕ здатні визначати структурно-функціональні зміни поверхневих водних об'єктів унаслідок дії на них техногенних чинників: узгодженість між біотичними та абіотичними чинниками (0,32–0,54); протидію біотичного потенціалу техногенно обумовленому середовищу (6,0–19,4); зниження інтенсивності механізму біотичної саморегуляції поверхневих вод об'єктів (6,3–19,4); формування еколого-небезпечних станів (72–52); порушення екологічної ємності (13,3–26,4), техноємності (1,4–2,5); залишковий екологічний резерв (6,4–11,0). Отримані результати можуть бути використані на локально-регіональному рівні кліматично-географічної зони України.

10. Науково обґрунтовано схемні рішення, за якими у польових умовах апробовано пілотну установку біоінженерної системи інтенсифікації

компенсаційного механізму біотичної саморегуляції, яка являє собою поєднання двох складових блоків: берегового блоку, який функціонує як біологічний фільтр при надходженні забруднювачів у прибережну систему і забезпечує формування якості води за рахунок самих біоценозів – ценозів рослин та асоційованих з ними угруповань бактеріо-, фіто- та зоопланктону, бентосу води, а також наплавного блоку, який дозволяє здійснювати самоочищення придонного шару води, донних відкладень та сприяє зміні гідродинамічних потоків дифузійного розсіювання бактеріоперефітону. Доведено, що запропонована біоінженерна система здатна ефективно впливати на відновлення інтенсивності механізму біотичної саморегуляції та пластичного метаболізму хімічних сполук антропогенного походження, за рахунок гідродинамічних перетворень, що забезпечує ступінь очищення до 95 % залежно від виду показника.

11. Результати дисертаційних досліджень використано: Солом'янською районною в м. Києві державною адміністрацією шляхом впровадження пілотного проекту запропонованої штучної біоінженерної системи, що дозволило відновити якісні характеристики вод р. Нивки до нормативних показників та відновити властивість річки як об'єкт рекреаційного призначення; ТОВ НІЦ «Потенціал-4» шляхом впровадження у проектну документацію для контролю та покращення екологічного стану малих річок, що дозволило покращити їх екологічний стан за такими показниками: зниження концентрації нафтопродуктів та сполук металів токсичної дії на 50 %; зниження значення показника ХСК та БСК<sub>5</sub> на 20 %; приведення значення загального органічного вуглецю до нормативних вимог; ТОВ НВО «Етна» шляхом впровадження у проектну документацію та під час розроблення очисних споруд промислових підприємств, що дозволило модернізувати технологічні схеми очисних споруд та підвищити ефективність очищення стічних вод промислових підприємств. Результати дисертаційних досліджень також впроваджено у навчально-методичному процесі Національного авіаційного університету для студентів спеціальності 101 «Екологія» під час викладання дисциплін «Техноекологія», «Урбоекологія» та «Загальна екологія та неоекологія».

## **СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ**

### **Монографії**

1. Міхеєв О. М. Використання гідрофітних систем для відновлення якості забруднених вод: монографія / О. М. Міхеєв, С. М. Маджд, О. В. Лапань, Я. І. Кулинич. – К. : Центр учбової літератури, 2018. – 171 с.
2. Маджд С.М. Концепція особливостей структурно-функціональних змін розвитку антропогенно трансформованих водних систем: монографія / С. М. Маджд. – К. : Центр учбової літератури, 2019. – 260 с.



### Статті у закордонних наукових виданнях

3. Міхеєв О. М. Новий спосіб конструювання плаваючих біоплато для фітодезактивації стічних вод підприємств цивільної авіації / О. М. Міхеєв, С. М. Маджд, О. В. Лапань // Східно-Європейський журнал – Польща: – Варшава, 2016. – № 5 (9). – Р. 135–142.
4. Міхеєв О. М. Збільшення буферності природних підсистем з метою мінімізації антропогенного навантаження на гідроекосистеми / О. М. Міхеєв, В. М. Удод, С. М. Маджд, О. В. Лапань, Я. І. Кулініч // Східно-Європейський Науковий Журнал – Польща: – Варшава, 2016. – № 9 (13). – С. 10–13.
5. Pysanko Y. Assessment of the ecological status of small rivers in urban areas. / Y. Pysanko, S. Madzhd // USEFUL online journal. Discipline: Environmental & Geological. – 2018. – Vol. 2, Issue 4. – P. 1–7.

### Статті у наукових фахових виданнях України

6. Маджд С. М. Екологічна оцінка якості поверхневих і ґрунтових вод, в районі експлуатації та ремонту авіаційної техніки / С. М. Маджд, Г. М. Франчук, М. М. Тимошенко // Екологічна безпека та природокористування : зб. наук. праць / М-во освіти і науки України, Київ. нац. ун-т буд-ва і архіт., НАН України, Ін-т телекомунікацій і глобал. інформ. простору. – К., 2012. – Вип. 9. – С. 116–122.
7. Маджд С. М. Удосконалення технологічної схеми очищення зворотних вод авіапідприємств / С. М. Маджд // Проблеми водовідведення, водовідведення та гідравліки : наук.-техн. зб. – К. : КНУБА, 2013. – Вип. 22. – С. 107–112.
8. Франчук Г. М. Удосконалення технології очищення стічних вод підприємств авіаційної галузі від нафтопродуктів / Г. М. Франчук, С. В. Бойченко, С. М. Маджд, О. О. Вовк, А. В. Яковлева // Наукоємні технології. – 2013. – №3. – С. 349–354.
9. Маджд С. М. Оцінка техногенного впливу авіапідприємств на стан водойм / С. М. Маджд // Екологічна безпека та природокористування: зб. наук. праць / М-во освіти і науки України, Київ. нац. ун-т буд-ва і архіт., НАН України, Ін-т телекомунікацій і глобал. інформ. простору. – К., 2014. – Вип. 14. – С. 101–106.
10. Франчук Г. М. Комплексна оцінка якості водних екосистем, забруднених скидами стічних вод аеропорту / Г. М. Франчук, С. М. Маджд, А. В. Бондарук // Наукоємні технології. – 2014. – №2. – С. 246–249.
11. Маджд С. М. Удосконалення контролю техносфери сучасними біологічними методами / С. М. Маджд // Екологічна безпека та природокористування : зб. наук. праць. – К. : КНУБА, 2015. – Вип. 19. – С. 19–26.
12. Маджд С. М. Досвід експлуатації гідрофітних споруд в Україні та світі / С. М. Маджд // Наукоємні технології. – 2016. – №2. – С. 228–231.
13. Маджд С. М. Визначення потенційної небезпеки донних відкладів гідроекосистем з інтенсивним техногенним навантаженням / С. М. Маджд, А. С. Александрова // Наукоємні технології. – 2016. – №3. – С. 331–334.

14. Маджд С. М. Механізми дезактивації забруднюючих речовин в гідробіотехнологічних системах / С. М. Маджд // Проблеми водовідведення, водовідведення та гідравліки : наук.-техн. зб. – К. : КНУБА, 2016.– Вип. 27. – С. 221–226.

15. Маджд С. М. Роль вищих водних рослин у деструкції забруднювачів в біоінженерних гідрофітних спорудах / С. М. Маджд, А. О. Панченко, А. М. Бондар // Наукоємні технології. – 2017. – №1. – С. 89–93.

16. Удод В. М. Дослідження причин та наслідків трансформації техногенно змінених водних систем / В. М. Удод, С. М. Маджд, Я. І. Кулинич // Техногенна безпека. – 2017. – Т. 289. Вип. 277. – С. 10–16.

17. Ісаєнко В. М. Водоохоронні заходи для підвищення екологічної безпеки виробничих стічних вод промислових підприємств / В. М. Ісаєнко, С. М. Маджд, А. О. Панченко, А. М. Бондар // Наукоємні технології. – 2018. – №4. – С. 437–442.

### Статті Scopus

18. Міхеєв О. М. Адаптація гідрофітної системи для очистки стічних вод підприємств цивільної авіації / О. М. Міхеєв, С. М. Маджд, О. І. Семенова, Т. І. Дмитруха // Хімія і технологія води. – 2015. – №3. – С. 574–581.

19. Міхеєв О. М. Экспериментальные основы нового метода ризофльтрационной очистки водных экосистем от  $^{137}\text{Cs}$  / О. М. Міхеєв, С. М. Маджд, О. В. Лапань // Хімія і технологія води. – 2017. – №4 – С. 439–446.

20. Міхеєв О. М. Розроблення нового методу ризофільтраційного очищення стічних вод від Cr (VI) / О. М. Міхеєв, О. В. Лапань, С. М. Маджд // Хімія і технологія води. – 2018. – №3 – С. 309–314.

21. Maksimenko O. Examining the efficiency of electrochemical purification of storm wastewater at machine-building enterprises / O. Maksimenko, H. Pancheva, S. Madzhd, Y. Pysanko // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2018. – vol. 6/10. – P. 21–27.

22. Ісаєнко В. М. Розробка методики визначення основного параметру функціонування гідроекосистем – екологічної ємності / В. М. Ісаєнко, С. М. Маджд, Я. І. Писанко, К. Д. Ніколаєв, Є. О. Бовсуновський, Л. М. Черняк // Східно-Європейський журнал. – 2019. – №1/10 (97) – С. 21–28.

### Статті у виданнях, які індексуються міжнародними науко-метричними базами даних

23. Madzhd S. Improvement of environmental safety lever of surface and ground water at the airport area / S. Madzhd // Вісн. НАУ. – 2016. – № 3 (62). – С. 80–84.

24. Madzhd S. M. Ecological assessment of the human-transformed systems of the Irpin river / S. M. Madzhd, Ya. I. Kulynych, A. A. Iavniuk // Вісн. НАУ. – 2017. – №2. – С. 93–98.

25. Удод В. М. Регіональні особливості структурно-функціональної організації розвитку техногенно змінених водних екосистем/ В. М. Удод,

С. М. Маджд, Я. І. Кулинич // Вісник Кременчуцького національного університету. – 2017. – №3 (104). – С. 93–99.

26. Маджд С. М. Наукова методологія оцінювання екологонебезпечних ризиків функціонування техногенно-змінених водних систем / С. М. Маджд, Я. І. Кулинич // Вісник Кременчуцького національного університету. – 2017. – №4 (105). – С. 88–95.

27. Маджд С. М. Дослідження техногенно-зумовлених водних екосистем в зоні впливу авіапідприємств / С. М. Маджд, Я. І. Писанко // Вісн. НАУ. – 2018. – №3. – С. 78–86.

28. Маджд С. М. Загальні екологічні особливості структурно-функціональних закономірностей розвитку техноприродних систем гирлової ділянки р. Ірпінь / С. М. Маджд // Вісник Кременчуцького національного університету. – 2018. – №5 (112). – С. 110–114.

29. Маджд С. М. Екологічна оцінка стану малих річок басейну річки Ірпінь за екосистемним принципом / С. М. Маджд, Я. І. Кулинич, Є. А. Гогунська // Вісн. НАУ. – 2018. – №4. – С. 81–87.

30. Ісаєнко В. М. Теоретична концепція формування еколого-небезпечних ризиків в процесі розвитку техноприродних водних екосистем / В. М. Ісаєнко, С. М. Маджд // Вісник Кременчуцького національного університету. – 2019. – №1 (114). – С. 121–127.

### **Патенти**

31. Пат. на корисну модель UA №107555. Біоплато для очищення стічних вод та водойм від радіонуклідів / Міхеєв О. М., Маджд С. М., Лапань О. В., Овсяннікова Л. Г. Зареєстр. 29.12.2015, Бюл. №11 від 10.06.2016.

32. Пат. на корисну модель UA №117067. Комплексна біоінженерна система для очищення водойм / Маджд С. М., Кулинич Я. І., Міхеєв О. М., Лапань О. В. Зареєстр. 20.01.2017, Бюл. №11 від 12.06.2017.

### **Свідоцтво про реєстрацію авторських прав**

33. Свідоцтво про реєстрацію авторських прав на твір № 67248. Сучасна методологія оцінки структурно-функціональних змін водних екосистем річок – в наслідок постійно діючого техногенного навантаження / Удод В. М., Міхеєв О. М., Маджд С. М., Кулинич Я. І. // Дата реєстрації Державної служби інтелектуальної власності України 15.08.2016 р.

### **Матеріали і тези доповідей**

34. Маджд С. М. Розробка водоохоронних заходів для забезпечення екологічної безпеки підприємств з експлуатації та ремонту авіаційної техніки / С. М. Маджд // Природокористування і сталий розвиток: економіка, екологія,

управління: зб. наук. праць Міжнар. наук.-практич. конф. – Ірпінь: Національний університет ДПС України, 2014. – С. 300–302.

35. Маджд С. М. Удосконалення екологічного контролю водойм навколо аеропортів / С. М. Маджд // Аеропорти – вікно в майбутнє: зб. наук. праць V Міжнар. наук.-практич. конф. – К.: НАУ, 2014. – С. 59–60.

36. Михеев А. Н. Новый способ конструирования биоплато для очистки водоемов от радионуклидов / А. Н. Михеев, О. В. Лапань, С. М. Маджд, С. А. Пчеловская // Современные тенденции развития науки и технологий – Белгород : БГТУ. – 2015. – №8. – С. 107–113.

37. Маджд С. М. Обґрунтування адаптаційних можливостей макрофітів для ефективного функціонування гідрофітних систем / С. М. Маджд // Екологія і природокористування в системі оптимізації відносин природи і суспільства: III Міжнар. наук.-практич. конф., 24–25 березня 2016 р. : тези доп. – Тернопіль: Крок, 2016. – С. 50–51.

38. Михеев А. Н. Разработка технологии деконтаминации водных объектов от радионуклидов и химического загрязнения / А. Н. Михеев, Л. Г. Овсянникова, С. М. Маджд, О. В. Лапань // Біотехнологія XXI : Всеукр. наук.-практ. конф., 22 квітня 2016 р. : тези доп. – К., НТУУ «КПІ», 2016. – С. 155.

39. Маджд С. М. Встановлення ролі гідрофітних систем у відновленні якості стічних вод підприємств авіаційної галузі / С. М. Маджд, А. О. Панченко // Екологічна безпека держави : X Всеукр. наук.-практ. конф. молодих учених та студентів, 21 квітня 2016 р. : тези доп. – К., 2016. – С. 23–24.

40. Міхеєв О. М. Новий метод конструювання біоплато для цілей ризофільтрації / О. М. Міхеєв, О. В. Лапань, С. М. Маджд // Вода: проблеми та шляхи вирішення : Всеукр. наук.-практ. конф., 6–8 липня 2016 р. : тези доп. – Рівне, ЖДУ ім. І. Франка, 2016. – С. 154–158.

41. Маджд С. М. Оцінка біотичного потенціалу водних екосистем в зоні впливу авіаційних підприємств / С. М. Маджд, А. С. Александрова, А. О. Панченко // Авіація в XXI столітті : VII Всесвіт. конгрес, 19–21 вересня 2016 р. : тези доп. – К., 2016. – С. 5.4.73–5.4.76.

42. Маджд С. М. Критичний аналіз проблем поточної експлуатації очисних споруд підприємств цивільної авіації / С. М. Маджд // Актуальні проблеми енергетики та екології: XVI Всеукр. наук.-практ. конф., 5–8 жовтня 2016 р. : тези доп. – Одеса, ОНАХТ, 2016. – С. 141–142.

43. Маджд С. М. Механізми дезактивації забруднюючих речовин в гідробіотехнологічних системах / С. М. Маджд // Водокористування: технології, споруди, менеджмент: III Міжнарод. наук.-практ. конф., 7–9 грудня 2016 р. : тези доп. – К., КНУБА, 2016. – С. 16.

44. Маджд С. М. Проблеми захисту малих річок з високим рівнем техногенного навантаження / С. М. Маджд // Екогеофорум–2017. Актуальні проблеми та інновації: Міжнар. наук.-практич. конф., 22–25 березня 2017 р.: тези доп. – Івано-Франківськ: Національний технічний університет нафти і газу, 2017. – С. 38.

45. Міхеєв О. М. Використання нового типу біоплато для очищення водних об'єктів від радіонуклідного та хімічного забруднення / О. М. Міхеєв, О. В. Лапань,

Л. Г. Овсяннікова, С. М. Маджд // XXIV щорічна наукова конференція Інституту ядерних досліджень НАН: Всеукр. наук. конф., 10–13 квітня 2017р.: тези доп. – Київ: Ін-т ядерних дослідж., 2017. – С. 240–241.

46. Mikhieiev O. M. Water bodies treatment from radionuclides and chemical pollution // O. M., Mikhieiev, O. V. Lapan, L. H. Ovsiannikova, S. M. Madzhd // Шевченківська весна: XV Міжнар. наук. конф., 21 квітня 2017 р.: тези доп. – Київ: ПАЛИВОДА А.В., 2017. – С. 12–13.

47. Маджд С. М. Підвищення буферності водних систем з інтенсивним навантаженням авіаційних підприємств / С. М. Маджд // АВІА–2017: XIII Міжнар. наук.-техніч. конф., 19–21 квітня 2017 р.: тези доп. – Київ: НАУ, 2017. – С. 28.14–28.16.

48. Маджд С. М. Механізм біотичної саморегуляції техногенно змінених водних систем / С. М. Маджд, Я. І. Кулинич // Середовище оточуюче людину: природне, техногенне, соціальне: V Міжнар. наук.-практич. конф., 26–28 квітня 2017 р.: тези доп. – Бердянськ: Бердянський інженерно-технологічний університет, 2017. – С. 218–221.

49. Маджд С. М. Природоохоронні заходи попередження якісного виснаження водних ресурсів / С. М. Маджд // Збалансоване природокористування: традиції, перспективи і інновації: I Міжнар. наук.-практич. конф., 18-19 травня 2017р.: тези доп. – Київ: Інститут агроєкології і природокористування Національної академії аграрних наук України, 2017. – С. 95–97.

50. Маджд С. М. Динаміка змін знаходження речовин та елементів техногенного походження у водах р. Ірпінь / С. М. Маджд, Я. І. Кулинич // Проблеми хімотології: VI Міжнарод. наук.-техніч. конф., 19–23 червня 2017 р. : тези доп. – Київ-Львівська обл., 2017. – С. 401–404.

51. Isaienko V. The prevention of water resources quality depletion in the cotext of sustainable development / V. Isaienko, K. Nikolaev, S. Madzhd // International Symposium on Sustainable Aviation 2017 ISSA: Sares Aviation Week 2017, 10–13 September 2017. – Kiev, Ukraine, 2017. – P. 66.

52. Маджд С. М. Роль гідробіотехнологічних систем у підвищенні ступеня очищення зворотніх вод / С. М. Маджд // VI Всеукр. з'їзд екологів з міжнарод. участю, 20–22 вересня 2017 р. : тези доп. – Вінниця, 2017. – С. 68.

53. Маджд С. М. Механізми підвищення рівня екологічної безпеки гідроєкосистем зони впливу авіаційних підприємств / С. М. Маджд, А. О. Панченко, Д. Д. Кальницька, А. М. Бондар // Проблеми екологічної безпеки: XV Міжнарод. наук.-техніч. конф., 11–13 жовтня 2017 р. : тези доп. – Кременчук, 2017. – С. 47.

54. Кулинич Я. І. Оцінка екологічної ємності природних водойм в умовах надмірного антропогенного навантаження / Я. І. Кулинич, С. М. Маджд // Чиста вода. Фундаментальні, прикладні та промислові аспекти: V Міжнарод. наук.-практич. конф., 26-27 жовтня 2017 р.: тези доп. – Київ, 2017. – С. 147–149.

55. Маджд С. М. Технології в очищенні стічних вод авіапідприємств у природних умовах / С. М. Маджд // «Еко Форум–2018»: II спеціалізов. Міжнар. еко. форум, 30 травня – 01 червня 2018 р.: тези доп. – Запоріжжя: ВЦ «Козак Палац», 2018. – С. 33–35.

56. Міхеєв О. М. Використання гідрофітної системи типу біоплато для відновлення якості забруднених важкими металами і радіонуклідами вод / О. М. Міхеєв, О. В. Лапань, С. М. Маджд // «Радіаційна і техногенно-екологічна безпека людини та довкілля: стан, шляхи і заходи покращення»: XIV Міжнарод. наук.-практич. конф., 2–6 червня 2017 р.: тези доп. – Миколаїв-Очаків, 2018. – С. 54–55.

57. Маджд С. М. Структурно-функціональні зміни розвитку водних системи в умовах техногенної трансформації / С. М. Маджд // «Екологічна безпека як основа сталого розвитку суспільства. Європейський досвід і перспективи» : XIV Міжнарод. наук.-практич. конф., 14 вересня 2018 р.: тези доп. – Львів, 2018. – С. 203.

58. Madzhd S. The conditions and factors for the formation of environmentally dangerous internal processes in water in technogenically loaded territories. / S. Madzhd // VIII International Symposium on Sustainable Aviation 2018, 10–12 October, 2018. – Kiev, Ukraine, 2018. – P. 7.75–7.79.

59. Маджд С. М. Матеріальна кумуляція донних відкладів басейнів рік техногенно трансформованих районів / С. М. Маджд // «Техногенно-екологічна безпека України: стан та перспективи розвитку» : VIII Всеукр. наук.-практич. Інтернет конф., 12-20 листопада 2018 р.: тези доп. – Ірпінь, 2018. – С. 252–256.

60. Маджд С. М. Природоохоронні заходи відновлення якості техногенно трансформованих водних систем / С. М. Маджд // Збалансоване природокористування: традиції, перспективи і інновації: II Міжнар. наук.-практич. конф., 21 грудня 2018 р.: тези доп. – Київ: Інститут агроекології і природокористування Національної академії аграрних наук України, 2018. – С. 45–47.

## АНОТАЦІЯ

**Маджд С. М. Розвиток наукових основ басейнового принципу управління екологічною безпекою техногенно трансформованих поверхневих водних об'єктів.** – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 21.06.01 – екологічна безпека. – Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління, Київ, 2019.

У дисертаційній роботі викладені результати досліджень, спрямовані на розвиток наукових основ управління екологічною безпекою поверхневих водних об'єктів за басейновим принципом, які враховують закономірності впливу чинників на процес формування їх техногенно трансформованого стану та інтенсивність компенсаційного механізму біотичного саморегулювання.

Розроблено науково-методологічні основи інтегрованого підходу в системі басейнового принципу управління екологічною безпекою техногенно трансформованих поверхневих водних об'єктів, які враховують ієрархічні рівні організації річок, що створило передумови зниження негативних наслідків техногенного впливу на якість водних ресурсів у районах річкових басейнів. За результатами експериментальних досліджень встановлено, що зміна речовинно-енергетичного балансу водного середовища суттєво впливає на процес формування

її техногенно трансформованого стану. Доведено, що техногенні трансформації нівелюються за рахунок дії компенсаційного механізму біотичної саморегуляції в результаті адаптації біотичних складових до свого нового середовища існування. Розроблено науково-методичні рекомендації щодо реалізації інформативної інтегрованої системи індикаторів контролю структурно-функціональних змін внутрішньоводоймних процесів. Розроблені схемні рішення, за яким виготовлено та у польових умовах апробовано пілотну установку біоінженерної системи інтенсифікації компенсаційного механізму біотичної саморегуляції, поєднаної з двох складових блоків – берегового і наплавного, що дозволяє одночасно очищувати всю товщу водного середовища та донні відкладення.

**Ключові слова:** екологічна безпека, система управління, басейновий принцип, водні об'єкти, техногенні трансформації.

## АННОТАЦИЯ

**Маджд С. М. Развитие научных основ бассейнового принципа управления экологической безопасностью техногенно трансформированных поверхностных водных объектов.** – Квалификационная научная работа на правах рукописи.

Диссертация на соискание учёной степени доктора технических наук, специальность 21.06.01 – экологическая безопасность. – Государственная экологическая академия последипломного образования и управления, Киев, 2019.

В диссертационной работе изложены результаты исследований, направленные на развитие научных основ управления экологической безопасностью поверхностных водных объектов за бассейновым принципом, учитывающие закономерности влияния факторов на процесс формирования их техногенно трансформированного состояния и интенсивность компенсационного механизма биотического саморегулирования.

Разработаны научно-методологические основы интегрированного подхода в системе бассейнового принципа управления экологической безопасностью техногенно трансформированных поверхностных водных объектов, которые учитывают иерархические уровни организации рек, создало предпосылки для снижения негативных последствий техногенного воздействия на качество водных ресурсов в районах речных бассейнов.

По результатам экспериментальных исследований установлено, что изменение вещественно-энергетического баланса водной среды существенно влияет на процесс формирования её техногенно трансформированного состояния. На примере малой реки Нивка доказано, что под влиянием торможения реакции нитрификации в водоёме образуются вторичные зоны загрязнения и формируется материально-функциональная кумуляция за счёт увеличения массы донных отложений и снижения самоочистной способности реки до 0,2 у. е. в результате снижения интенсивности компенсационного механизма биотической саморегуляции. На основе прогнозирования изменений вещественного баланса и метаболической и экологической способности по компенсационным механизмом

биотической саморегуляции научно обоснованно динамику пространственно-временных изменений экологического состояния поверхностных водных объектов на примере участка бассейна реки Днепр. Доказано, что механизм биотической саморегуляции вод является интегральным показателем механизма интенсивности внутриводоёмных процессов. Установлено, что для средней р. Ирпень бассейна р. Днепр интенсивность механизма биотической саморегуляции находится в пределах 17,0 у. е. Полученные значения находятся в пределах экологической ниши, характерной для техногенно трансформированных водных объектов, которая является не только физическое пространство для функционирования гидробионтов, но и создаёт условия для экосистемных процессов. Доказано, что техногенные трансформации нивелируются за счёт действия компенсационного механизма биотической саморегуляции в результате адаптации биотических составляющих к своей новой среде обитания. Разработаны научно-методические рекомендации по реализации информативной интегрированной системы индикаторов контроля структурно-функциональных изменений внутриводоёмных процессов.

Научно обоснованно согласованность взаимосвязей и взаимодействий параметров процесса самоочищения поверхностных водных объектов, предложено градации параметров их преобразований в техногенно трансформированные: первая – изменение вещественно-энергетического баланса веществ техногенного происхождения по индивидуальным и суммарными показателями; вторая – изменение эффективности механизма пластического метаболизма химических соединений антропогенного происхождения (синтез и трансформация химических соединений) третья – неустойчивая динамическое равновесие в водном объекте в результате повреждающего действия экотоксикантов антропогенного происхождения (когда механизм биотической саморегуляции находится на грани внутреннего взаимодействия экологических и антропогенных факторов); четвертая – (типична для малых рек) преобразования абиотической среды, окружающей биоту; пятая – нарушение относительной стабильности развития водного объекта (компенсационные механизмы биотической саморегуляции не в состоянии положительно реагировать на антропогенные изменения и в результате происходит качественное истощение вод вследствие техногенной трансформации).

Установлено, что разработанная информативная интегрированная система индикаторов контроля структурно-функциональных изменений внутриводоёмных процессов как элемента системы управления экологической безопасностью поверхностных водных объектов, соответствует системе управления экологической безопасностью техногенно трансформированных водных объектов и является адаптированной модели Международной экологической программы UNEP.

Разработан схемное решение, изготовлено и в полевых условиях апробированы пилотную установку биоинженерного системы интенсификации компенсационного механизма биотической саморегуляции, соединенной из двух составляющих: блоков берегового блока, который функционирует как биологический фильтр при поступлении загрязнителей в прибрежную систему и обеспечивает формирование качества воды за счёт самих биоценозов – ценозов растений и ассоциированных с ними группировок бактерио-, фито- и зоопланктона, бентоса воды, а также наплавного блока, который позволяет осуществлять сам



очистки придонного слоя воды, донных отложений и способствует изменению гидродинамических потоков диффузного рассеяния бактериоперефитону. Доказано, что предложенная биоинженерных система способна эффективно влиять на восстановление интенсивности механизма биотической саморегуляции и пластического метаболизма химических соединений антропогенного происхождения, за счёт гидродинамических преобразований, обеспечивает степень очистки до 95 % в зависимости от вида показателя.

**Ключевые слова:** экологическая безопасность, система управления, бассейновый принцип, водные объекты, техногенные трансформации.

## ABSTRACT

**Madzhd S. M. The development of scientific foundations of the basin principle of management of the technogenic transformed surface water objects.** – Qualifying scientific work on the manuscript. – Qualifying scientific work on the manuscript.

Thesis for a Doctor of Technical Sciences Degree in specialty 21.06.01 – ecological safety. – State Ecological Academy of Postgraduate Education and Management, Kyiv, 2019.

In thesis the results of researches which directed on development of scientific bases of management of ecological safety of surface water objects on a basin approach, which take into account regularities of influence of factors on the process of formation of their technogenically altered state and intensity of compensatory mechanism of biotic self-regulation, are described.

The scientific and methodological foundations of the integrated approach in the system of basin principle of ecological safety management of technogenically transformed surface water objects, which take into account the hierarchical levels of rivers organization are developed. This created the prerequisites for reducing the negative effects of technogenic influence on the quality of water resources in river basin districts

It is set as a result of experimental researches, that the change in the substance-energy balance of the aquatic environment significantly influences on the process of forming of its technogenically transformed state.

It is improved that technogenic transformations are offset by the action of the compensation mechanism of biotic self-regulation as a result of adaptation of biotic components to its new environment of existence.

Scientific and methodical recommendations for the implementation of an informative integrated system of indicators for controlling of structural and functional changes in internal water body processes have been developed.

**Keywords:** ecological safety, management system, basin principle, water objects, technogenic transformations.