

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЛЬВІВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»**

БЕЗСОНОВ ЄВГЕН МИКОЛАЙОВИЧ



УДК 502.1–049.5:502.51(282.05)(477.7)(043.5)

**ВИЗНАЧЕННЯ РІВНЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ РЕГІОНУ
МЕТОДОМ ТОКСИКО-ЕНЕРГЕТИЧНОГО ВІДГУКУ
БІОТИЧНИХ КОМПОНЕНТІВ ВОДНИХ ЕКОСИСТЕМ**

21.06.01 – екологічна безпека

АВТОРЕФЕРАТ
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Львів – 2018

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана на кафедрі екології та природокористування Чорноморського національного університету імені Петра Могили Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник: кандидат технічних наук, доцент
Андрєєв В'ячеслав Іванович,
Чорноморський національний університет
імені Петра Могили
Міністерства освіти і науки України,
доцент кафедри екології та природокористування.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Погребенник Володимир Дмитрович,
Національний університет «Львівська політехніка»
Міністерства освіти і науки України,
професор кафедри екологічної безпеки та
природоохоронної діяльності;

кандидат технічних наук, доцент
Петрук Роман Васильович,
Вінницький національний технічний університет,
доцент кафедри екології та екологічної безпеки.

Захист відбудеться 27 червня 2018 р. о ____ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради К 35.052.22 у Національному університеті «Львівська політехніка» за адресою: 79057, м. Львів, вул. Генерала Чупринки, 130, аудиторія 105.

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці Національного університету «Львівська політехніка» за адресою: 79013, м. Львів, вул. Професорська, 1.

Автореферат розіслано 26 травня 2018 р.

Учений секретар спеціалізованої
вченої ради К 35.052.22,
канд. техн. наук, доцент



В. В. Сабадаш

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Тематика наукових робіт останніх десятиріч усе частіше спрямовується на пошук оптимальних умов взаємодії господарського комплексу людини та екологічних систем. Сьогодні, з огляду на пролонговане погіршення стану навколишнього середовища в більшості регіонів України, можна дійти висновку, що зі збереженням сучасних підходів до оцінювання впливу на довкілля та визначення рівня екологічної безпеки відповідних соціоекосистем, якість життя і здоров'я людей з великою долею ймовірності не покращиться. Набагато складніше буде відмовитися від екстенсивних моделей виробництва та змінити ставлення до природних ресурсів, не знаючи генезису причинно-наслідкових зв'язків негативних явищ і процесів.

Необхідність розв'язання проблеми комплексного оцінювання рівня екологічної безпеки природних та соціальних екосистем суттєво зумовлена тим, що більшість сучасних офіційних міжнародних (Environmental Sustainability Index, Environmental Performance Index, Ecological Footprint, Happy Planet Index, Resource and Environment Performance Index) та вітчизняних (індекс забруднення води, ґрунтів, атмосфери, комбінаторний індекс забрудненості, методика НДІ ім. Ерісмана з чотирма критеріями забруднення та комплексна екологічна класифікація якості поверхневих вод суші та ін.) індексів визначення стану навколишнього середовища, які базуються на використанні поняття гранично допустимої концентрації, не фіксують цього погіршення, або роблять це лише частково. З огляду на це, більшої вагомості в системі забезпечення екобезпеки набувають методи біоіндикації, біотестування, які побудовано на основних законах біосфери, з безпосередньою прив'язкою до природних умов конкретних соціоекосистем.

На вітчизняному рівні питання оцінювання екологічної безпеки вивчали представники київської, кременчуцької, харківської, одеської, львівської, вінницької та інших наукових екологічних шкіл України, здобутки яких враховано у роботі.

З огляду на закономірності колообігів речовин у довкіллі та концентраційні властивості водного середовища, особливу увагу в процесі забезпечення екологічної безпеки на регіональному та локальному рівнях необхідно приділяти водним екосистемам. Вони відіграють ключову роль у функціонуванні соціо-екологічних систем, є природними очисними і трансформаційними буферами хімічних, фізичних та біологічних факторів. У розрізі вищевикладеного, актуальною задачею нині є розроблення нових методів комплексного оцінювання рівня екологічної безпеки соціоекосистем, побудованих на визначенні токсико-енергетичних відгуків (або екологічних характеристик) біотичних компонентів водних екологічних систем.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційне дослідження здійснювалося в рамках виконання фундаментальної науково-дослідної роботи (номер державної реєстрації 0114U004572) «Теоретичні основи визначення індикаторів та коефіцієнтів вагомості екологічних індексів в системі сталого розвитку Південного регіону України» кафедрою екології та природо-користування Чорноморського національного університету імені Петра Могили.

Мета і завдання дослідження. Метою дисертаційного дослідження є розроблення методу комплексного оцінювання безпеки водної екологічної системи шляхом встановлення токсикологічного відгуку її стенобіотичної складової та показників енергопродуктивності.

Для досягнення мети передбачено виконання таких завдань:

1) проаналізувати теоретичний та практичний аспекти оцінювання рівня екологічної безпеки водних екосистем у контексті переходу регіонів України до сталого (збалансованого) розвитку;

2) визначити основні теоретичні підходи та етапи оцінювання рівня екологічної безпеки екосистеми річки (на прикладі річки Південний Буг у її нижній течії) та розробити програму експериментальних досліджень її біотичної складової;

3) установити наслідки від незбалансованого водокористування у соціо-екосистемі (на прикладі Миколаївської області), з метою доведення репрезентативності екологічної безпеки регіону станом місцевих водних екосистем, зокрема визначенням економічних та екологічних збитків;

4) розробити метод комплексного оцінювання рівня екологічної безпеки систем регіонального та локального масштабу на основі токсикологічних та енергетичних функцій відгуку біотичних компонентів водних екосистем;

5) оцінити ефективність методу токсико-енергетичного відгуку з позицій стратегічного використання екосистемних послуг річки для населення та промислового комплексу у процесі забезпечення екологічної безпеки.

Об'єкт дослідження – екосистема гирлового комплексу річки Південний Буг.

Предмет дослідження – визначення рівня екологічної безпеки регіону на основі токсико-енергетичного відгуку біотичних компонентів водної екосистеми (на прикладі гирлового комплексу річки Південний Буг у межах Миколаївської області).

Методи дослідження. Експериментальні токсикологічні дослідження виконували в лабораторних умовах; польові – з використанням методів біоіндикації. Метод математичного моделювання використано для аналізу отриманих експериментальних даних токсикологічних досліджень (логістична залежність описана рівнянням Ферхюльста), вивчення регіональних закономірностей потоків речовини та енергії з метою підтвердження процесів деградації екологічної системи регіону, виявлення причин (головних чинників шкоди), визначення господарського (екологічного) ризику та збитків. Формалізацію результатів моделювання виконано з використанням програмно-функціонального забезпечення MS Excel, Graph та статистичного середовища програмування R. Дослідження багаторічної динаміки стоку річки Південний Буг здійснено методами статистичного аналізу. Нормування антропогенного навантаження проведено на основі аналізу екологічних характеристик гідробіонтів методом їхнього чисельного диференціювання.

Наукова новизна одержаних результатів:

уперше:

– розроблено метод комплексного індексного оцінювання рівня екологічної безпеки водних систем регіонального рівня на основі речовинних та енергетичних

закономірностей їхнього функціонування (на прикладі річки Південний Буг). В основу методу токсико-енергетичного відгуку покладено використання токсикологічних та енергетичних функцій відгуку стенобіонтів, як найчутливіших до антропогенного впливу живих компонентів довкілля, і ланок ланцюга живлення водної екосистеми відповідно. Це дало змогу врахувати динаміку синергетичних та кумулятивних ефектів дії негативного чинника в навколишньому середовищі та оптимізувати процес оцінювання рівня екологічної безпеки;

– оцінено цілісність і збалансованість енергетичної структури водного об'єкта введенням поняття «енергетичної ніші» біологічного виду (групи видів) в екологічній системі, що дозволило обґрунтувати межі природокористування для господарського комплексу;

удосконалено:

– прогностні моделі гідрологічних, гідрохімічних та гідробіологічних явищ і процесів на основі статистичного аналізу закономірностей гідрологічного режиму річки Південний Буг, що дало можливість конкретизувати значення екологічного та техногенного ризиків для елементів соціоекосистеми;

набули подальшого розвитку:

– методологічні підходи до визначення екологічних та економічних збитків від незбалансованого використання екосистемних послуг, урахуваючи біосферні закони оптимуму, ускладнення та розподілу енергії. Це підтвердило коректність результатів розробленого методу індексного оцінювання рівня екологічної безпеки;

– теоретичні аспекти щодо неспроможності нормативної концепції оцінювання антропогенного впливу на навколишнє середовище визначати рівень екологічної безпеки соціоекосистем з урахуванням синергетичних і кумулятивних ефектів взаємодії забруднювальних речовин і чинників довкілля.

Практичне значення одержаних результатів. Визначення рівня екологічної безпеки розробленим методом токсико-енергетичного відгуку біотичних компонентів водних екосистем, на відміну від сучасних нормативних індексних методик, якісніше характеризує стан збалансованості природокористування в соціоекосистемі. Визначений індекс екологічної безпеки для частини басейну в діапазоні $0 < \text{ІЕБ} < 1$ набуває значень від 0,2 (токсикологічний відгук) до 0,3 (енергетичний відгук), що свідчить про кризовий екологічний стан річки. Аналогічні нормативні методи оцінювання стану водної екосистеми мають значення 1,0–2,0 і характеризують її як помірно забруднену впродовж тривалого періоду часу.

Наукові та практичні результати дисертаційної роботи впроваджено:

1) у роботу комунальної установи Миколаївської міської ради «Агенція розвитку Миколаєва» (акт впровадження від 12.09.2017, вих. № 1209);

2) у роботу Регіонального ландшафтного парку «Тилігульський» (акт впровадження від 05.06.2017);

3) у роботу Національного природного парку «Вижницький» (акт впровадження від 10.08.2017);

4) під час виконання фундаментальної науково-дослідної роботи (номер державної реєстрації 0114U004572) «Теоретичні основи визначення індикаторів

та коефіцієнтів вагомості екологічних індексів у системі сталого розвитку Південного регіону України» у 2014–2017 роках;

5) у навчальний процес Чорноморського національного університету імені Петра Могили в курсах дисциплін «Екологія промисловості та транспорту Причорномор'я», «Екологічна безпека» (напрямок підготовки 6.040106 «Екологія, охорона навколишнього середовища та збалансоване природокористування») та «Системний аналіз якості навколишнього середовища» (спеціальність 101 «Екологія»).

Особистий внесок здобувача. Здобувачем встановлено проблематику дослідження, розроблено метод оцінювання рівня екологічної безпеки водних екосистем. Експериментальні та польові дослідження виконувалися самостійно. Планування експериментальних досліджень, формулювання ідей та гіпотез, обґрунтування основних теоретичних положень та висновків дисертації виконано під керівництвом кандидата технічних наук, доцента В. І. Андрєєва.

Апробація результатів дисертації. Основні положення дисертаційного дослідження та практичні результати оприлюднено на конференціях: XVIII Міжнародна науково-практична конференція студентів, аспірантів і молодих учених «Екологія. Людина. Суспільство», м. Київ (2015 р.); Міжнародна науково-практична конференція «Ольвійський форум: стратегії країн Причорноморського регіону в геополітичному просторі», м. Миколаїв (2015–2017 рр.); V-й Всеукраїнський з'їзд екологів з міжнародною участю (Екологія/Ecology-2015), м. Вінниця (2015 р.); XII Міжнародна науково-практична конференція «Проблеми екологічної безпеки», м. Кременчук (2015 р.); Всеукраїнська науково-методична конференція «Могилянські читання: досвід та тенденції розвитку суспільства в Україні: глобальний, національний та регіональний аспекти», м. Миколаїв (2015, 2016 рр.); VIII Миколаївські міські екологічні читання «Збережемо для нащадків», м. Миколаїв (2015 р.); Міжнародна науково-практична конференція «Екологічні засади збалансованого регіонального розвитку», м. Івано-Франківськ (2016 р.); Міжнародна наукова конференція молодих вчених «Сучасний стан та якість навколишнього середовища окремих регіонів», м. Одеса (2016 р.); Науково-практична конференція «Стратегії сталого розвитку: на шляху до сильнішої громади», м. Сєвєродонецьк (2016 р.); Науково-практична конференція з міжнародною участю «Екологічна безпека поселення та регіону як основа державної безпеки», м. Миколаїв (2016 р.); Всеукраїнська науково-практична конференція «Проблеми техногенно-екологічної безпеки: освіта, наука, практика», м. Харків (2016 р.); XI Всеукраїнська науково-практична конференція молодих учених та студентів «Екологічна безпека держави», м. Київ (2017 р.); Четвертий студентський Конгрес «Захист навколишнього середовища. Збалансоване природокористування», м. Львів (2017 р.).

Публікації. Основні положення дисертації опубліковано у 26 наукових працях, з яких: 10 статей (6 – у наукових фахових виданнях з переліку МОН України з технічних наук, у т. ч. 3 – індексуються міжнародною наукометричною базою Scopus; 1 – у міжнародній колективній монографії; 3 – у інших наукових виданнях); 16 матеріалів та тез доповідей на міжнародних та всеукраїнських конференціях.

Структура та обсяг дисертаційної роботи. Дисертаційна робота складається зі вступу, 4 розділів основної частини, загальних висновків, списку використаних джерел і додатків. Текст дисертації містить 10 таблиць, 39 рисунків, 20 формул. Загальний обсяг роботи – 196 сторінок, з яких 156 – основна частина. Список літератури містить 237 джерел.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми дисертаційної роботи, визначено об'єкт та предмет дослідження, сформульовано мету та завдання дослідження, наукову новизну, теоретичну й практичну цінність одержаних результатів, особистий внесок автора, подано дані щодо апробації результатів дисертації, структуру та обсяг роботи.

У **першому розділі** виконано аналіз джерел інформації на предмет вагомості й урахування екологічної безпеки в стратегічних документах з розвитку міжнародного та державного рівня. Доведено, що у зв'язку з усвідомленням людиною виходу за межі своєї екологічної ніші (що підтверджується численною кількістю та загостренням деяких екологічних проблем), потребують переосмислення принципи управління природними ресурсами, зокрема оцінювання стану та стратегія їхнього споживання.

Встановлено, що ключову роль у розвитку будь-яких екологічних та соціоекологічних систем відіграє просторова та функціональна цілісність природних водних об'єктів, особливо на місцевому та регіональному рівні. Це дало змогу стверджувати, що оцінювання рівня екологічної безпеки певного регіону (через відповідний індекс) доцільно проводити на основі комплексного дослідження стану місцевих водних екосистем.

Враховуючи досвід розроблення підходів та методик до оцінювання рівня екологічної безпеки певних територій чи об'єктів, обґрунтовано доцільність використання формалізованих функцій відгуку (екологічних характеристик) місцевих стенобіонтних видів як основних індикаторів у поєднанні з аналізом параметрів екосистем, які характеризують їхню функціональну цілісність: через сталість потоків енергії у ланцюгах живлення.

У **другому розділі** викладено методологію теоретичних, експериментальних і польових досліджень.

Враховуючи вітчизняний та міжнародний досвід, проаналізовано сучасну концепцію нормування антропогенного навантаження на навколишнє середовище на предмет комплексності відображення її чисельного значення реальній екологічній обстановці. Виявлені недоліки дали змогу обґрунтувати необхідність розроблення принципово нових методів оцінювання стану довкілля, які побудовано на використанні фундаментальних положень сучасної екології: законів ускладнення, толерантності, розподілу енергії у ланцюгах живлення та ін.

Гіпотеза дослідження полягає в тому, що оцінювання рівня екологічної безпеки регіону доцільніше здійснювати на основі показників біотичних компонентів водних екосистем, які, на відміну від абіотичних нормативів (ГДК),

формується під дією комплексу чинників, забезпечуючи врахування історичної динаміки явищ і процесів.

Визначено пріоритетне місце функцій відгуку (екологічних характеристик) біотичних компонентів екологічної системи в системі комплексного аналізу рівня екологічної безпеки соціоекосистеми, виходячи з того, що від безпечного функціонування біоти залежить цілісність і повнота ланцюга живлення, невід'ємною складовою якого є людина. Ключовими вимогами в цьому сенсі є: збереження розміру і біомаси екосистеми; сталість видового (популяційного)

складу і чисельних співвідношень між видами і функціональними групами організмів. Від цього залежить сталість трофічних зв'язків, внутрішніх взаємодій між структурними компонентами екосистеми та її продуктивність.

З метою визначення рівня екологічної безпеки водної екосистеми на основі використання стенобіонтної біоіндикації і біотестування та оцінювання сталості потоків енергії у ланцюгах живлення, розроблено метод токсико-енергетичного відгуку (рис. 1). Оцінювання екологічної безпеки соціоекосистеми охоплює 9 етапів.

На першому визначають негативні чинники (від Φ_1 до Φ_n), які можуть вплинути, або вже впливають на довкілля.

Другий етап полягає у виявленні слабких (найчутливіших) та найпрезентативні-

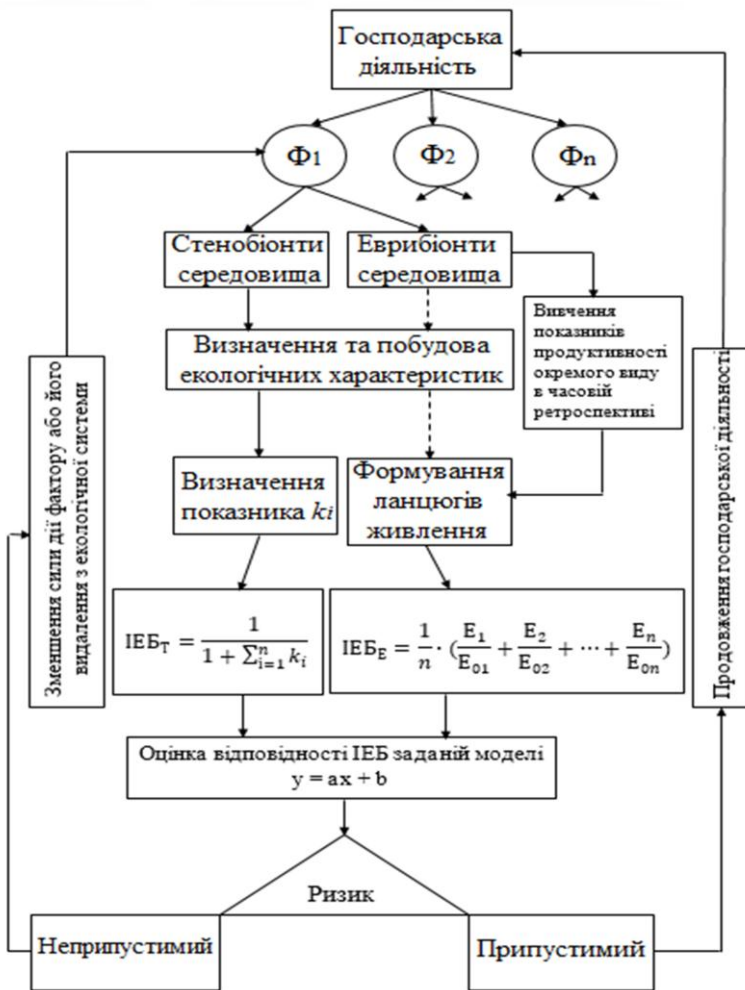


Рис. 1. Етапи оцінювання екологічної безпеки соціоекосистеми

ших видів живих організмів.

На основі попередніх двох етапів формують формалізовані залежності показників об'єктів дослідження від дієвого чинника – визначають екологічні характеристики, що є третім етапом оцінювання.

На четвертому етапі встановлюють показник потенційної смертності у випадку стенобіонтів та формують ланцюги живлення з метою визначення сталості продукування екологічною системою природного ресурсу.

На п'ятому етапі здійснюють індексне оцінювання рівня екологічної безпеки. У першому випадку процес побудовано на дослідженні функції відгуку стенобіонтних живих організмів. Якщо середовище життя є безпечним для

найчутливішого до негативного чинника організму екологічної системи, то і ризик нанесення шкоди здоров'ю людини буде мінімальним. Другий варіант оцінювання – дослідження продуктивності екосистеми. При цьому обидва способи не виключають один одного, а доповнюють.

На шостому етапі аналізують відповідність отриманого значення індексу екологічної безпеки заданій моделі розвитку соціоекологічної системи.

Визначення ризиків нанесення шкоди екологічним системам та організмам-індикаторам унаслідок ведення певного виду господарської діяльності виконують на сьомому етапі.

Восьмий та дев'ятий етапи забезпечують логічний (експертний) аналіз отриманих оцінок із формулюванням висновків про можливість подальшого провадження господарської діяльності у соціоекосистемі.

Індикатори комплексного оцінювання рівня екологічної безпеки регіону подано у табл. 1 із зазначенням критерію відбору.

Таблиця 1

Система індикаторів методу токсико-енергетичного відгуку

Організми-індикатори	Задовольняє умови	Примітка
Токсикологічний відгук		
Веснянки (<i>Plecoptera</i>)	1) чутливість до наявності забруднювальних речовин у воді; 2) широкий діапазон толерантності до солоності води; 3) займає вагоме місце в харчовому ланцюзі; 4) доступність; 5) економічність.	Якщо навколишнє середовище є безпечним для найчутливішого живого організму (стенобіонту), то воно, безумовно, буде безпечним для людини.
Одноденки (<i>Ephemeroptera</i>)		
Волохокрильці (<i>Trichoptera</i>)		
Віслокрилки (<i>Megaloptera</i>)		
Бокоплави (<i>Amphipoda</i>)		
Енергетичний відгук		
Автотрофи: фітопланктон, вища водна рослинність	На будь-який елемент харчового ланцюга у водній екосистемі в будь-який момент часу діє комплекс факторів; враховані синергетичні та кумулятивні ефекти їхньої взаємодії.	Чим більше організмів індикаторів узято для обчислення, тим точнішим є кінцеве значення оцінки.
Гетеротрофи: консументи всіх порядків		
Окисно-відновний потенціал води	Формується під дією усіх без виключення факторів навколишнього середовища.	Складнощі інтерпретації даних.

Використання показників, які характеризують екологічну систему комплексно (в цьому випадку – часова динаміка енергетики (продуктивності) складових ланцюга живлення), або швидкість і якість реакції найчутливіших «рецепторів» (стенобіонтів) навколишнього середовища, дозволить значно зменшити вагомість похибок вимірювання сотень абіотичних параметрів стану довкілля в підсумковому значенні оцінки рівня екологічної безпеки.

У розділі викладено мету, завдання, матеріали та технічне оснащення експериментальних і польових досліджень, обґрунтовано їхні територіальні межі.

Визначення індексу екологічної безпеки водної екосистеми має такий повний формалізований вигляд для токсикологічного (1) та енергетичного (2) відгуків:

$$IEB_T = \frac{1}{1 + \sum_{i=1}^n k_i} = \frac{1}{1 + k_{\delta} + k_{вс} + k_{од} + k_{вк} + k_{вл}}, \quad (1)$$

де k_{δ} , $k_{вс}$, $k_{од}$, $k_{вк}$, $k_{вл}$ – показники смертності особин кожної відповідної групи: бокоплови, веснянки, одноденки, волохокрильці та віслокрилки:

$$IEB_E = \frac{1}{n} \cdot \left(\frac{E_1}{E_{01}} + \frac{E_2}{E_{02}} + \dots + \frac{E_n}{E_{0n}} \right), \quad (2)$$

E_0 – еталон енергетичної ємності (продуктивності) виду або популяції, E_n – сучасний показник продуктивності.

Експериментальні дослідження включали відбір проб води, використання стенобіонтів як тест-організмів, приготування контрольних та експериментальних зразків, визначення токсикологічного відгуку (показників смертності) тест-організмів і чисельну індексу формалізацію отриманих результатів. Камеральні – вивчення даних попередніх гідробіологічних досліджень на водному об'єкті щодо кількості груп організмів харчового ланцюга екосистеми, зіставлення їх із сучасними даними, і формалізацію результату у вигляді індексу.

У **третьому розділі** подано результати польових та експериментальних досліджень, які підтверджують адекватність запропонованих теоретичних положень оцінювання рівня екологічної безпеки регіону методом токсико-енергетичного відгуку біотичних компонентів водних екосистем. Використовуючи методи статистики, надано кількісну та якісну характеристику взаємозв'язків у соціоекосистемі на прикладі Миколаївського регіону. Зокрема, доведено погіршення екологічного стану річки Південний Буг у її нижній течії за гідрофізичними, гідрохімічними та гідробіологічними показниками.

Особливу увагу приділено найбільшій проблемі річки Південний Буг – зарегульованості русла та басейнового стоку, яка має величезний вплив на якість

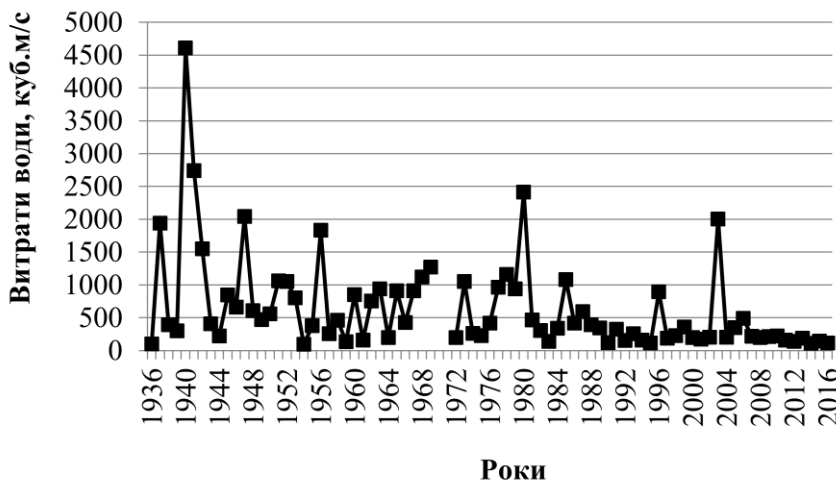


Рис. 2. Зменшення величини екстремумів добових витрат води у Південному Бугу (1936–2016 рр.)

води в річці. У басейні Південного Бугу створено 9,9 тисяч штучних водойм, сумарним об'ємом понад 1,5 км³.

Аналіз більш ніж 28000 фактичних даних у програмному середовищі MS Excel щоденних витрат води в річці у гідрологічному посту Олександрівка показав, що середній стік річки за 1936–2016 роки складає 2,8 км³. Тобто, господарський комплекс забирає приблизно 50 % стоку річки щороку.

З огляду природного санітарного очищення русла річки паводкоповеневим режимом показовим є рис. 2, який отримано на основі аналізу фактичних даних

екстремумів витрат води на річці Південний Буг за 80 років. Встановлено, що регулювання об'єму стоку у верхній течії річки позначається на гідрохімічних показниках водного середовища у нижній течії. Аналізуючи дані гідрологічних та гідрохімічних показників річки Південний Буг, у середовищі програмування R, з допомогою функції *cor*, оцінено їхній взаємозв'язок (табл. 2).

Таблиця 2

Зв'язок водності річки з її гідрохімічними показниками

№ з/п	Досліджувані системи факторів	Значення коефіцієнту кореляції, r	Помилка коефіцієнту кореляції	Достовірність обчислення, P, %
1	Середньомісячні витрати води – середньомісячна концентрація фосфору загального	-0,74	-0,213	99
2	Середньомісячні витрати води – середньомісячна концентрація фосфатів	-0,77	0,202	99
3	Середньомісячна концентрація фосфору загального – середньомісячна концентрація фосфатів	0,84	0,17	99
4	Середньомісячні витрати води – середньомісячна концентрація нітратів	0,83	0,176	99

Доведено, що вирівнювання стоку річки також змінює гідробіологічні показники. Синергізм означених процесів зумовлює зменшення видового складу гідробіонтів ($r = 0,79$).

Перевірено гіпотезу щодо використання показника окисно-відновного потенціалу (ОВП) в якості комплексного індикатору стану водної екосистеми. Це обґрунтовано тим, що заряд води формується під дією всіх без виключення природних та антропогенних факторів. Однак, такий підхід має й недоліки: досить часту необхідність калібрування приладів виміру, не універсальність методу, низьку інформативність, оскільки значення потенціалу на індикаторному електроді мають випадковий або компромісний характер. Результати власних досліджень у 2016 році на річках Південний Буг та Інгул, з використанням приладів ORP-169E та SOM-100, підтверджують це.

Особливу увагу було приділено дослідженню функцій відгуку стенобіонтів екосистеми річки Південний Буг та об'ємів потоку енергії в екосистемі регіонального рівня – Дніпро-Бузькому лимані.

У результаті натурних спостережень та моделювання рівня забруднення водного середовища визначено та формалізовано функцію відгуку для представників родини *Gammaridae* за концентрації детергенту у воді 100 мг/л (3):

$$y = \frac{100}{1 + 10^{-2,7+1,79 \cdot t}} \quad (3)$$

Однак, у цьому випадку неможливо визначити, наскільки повно досліджувані організми представлено у своїй екологічній ніші через показники щільності або чисельності популяції. Тому, за відомими історичними фактичними даними, показник смертності для бокоплава визначено на рівні 0,5 (за еталон

узяті дані чисельності 1967 р.). Це дозволило оцінити токсичність води в річці, еквівалентну півторадобовому впливу детергенту, концентрацією 100 мг/л.

Оскільки веснянок, одноденок, волохокрилець та віскокрилок у пробах виявлено не було, приймаємо: $k_{bc} = 1$, $k_{od} = 1$, $k_{ex} = 1$, $k_{gl} = 1$, а $k_{\sigma} = 0,5$. Вираз (1), за таких вихідних даних, приймає значення 0,18, що дозволяє стверджувати про надзвичайну забрудненість водної екосистеми Південного Бугу господарсько-побутовими стічними водами.

Зміст оцінювання енергетичної сталості полягає в тому, що, на відміну від економічних чи речовинних показників, енергія є єдиною величиною, розмірність (або вага) якої є незмінною з плином часу і формується під дією всіх без винятку факторів довкілля. Підсилення, видалення або зміна дії одного чи декількох абіотичних факторів на екосистему обов'язково позначиться на структурі та кількісних показниках біотичного різноманіття.

Аналіз фактичних даних біомаси гідробіонтів Дніпро-Бузького лиману дозволив визначити індекс екологічної безпеки нижньої течії для річок Південний Буг та Дніпро за енергетичним відгуком. Його чисельне значення склало 0,31.

Враховуючи отримані результати, можна стверджувати про кризовий екологічний стан водної екосистеми річки Південний Буг у її нижній течії. Для порівняння, нормативний індекс забруднення води (ІЗВ) для досліджуваної екосистеми знаходиться в діапазоні 1,05–2,12 протягом останніх 30 років, що відповідає категорії помірної забрудненості вод або III класу їхньої якості.

Розроблено методику та визначено розмір екологічної шкоди для екосистеми Південного Бугу. Її оцінено на рівні $5,5 \cdot 10^9$ ккал в енергетичному еквіваленті, або – 250 млн. грн щороку в грошовому, з 2000 р.

На основі аналізу чисельності елементів однієї з ланок харчового ланцюга (хижих риб (у цьому випадку – консументів III порядку)) Дніпро-Бузького лиману доведено низький рівень безпеки водної екологічної системи. Для обґрунтування меж природокористування введено поняття енергетичної ніші виду.

Результати дослідження підтвердили, що стан водної екосистеми Південного Бугу у нижній течії знаходиться у надзвичайно незадовільному стані.

Удосконалено зміст функції відгуку (екологічної характеристики) організму як інструменту нормування антропогенного навантаження на довкілля. Визначення зон (високої (В), середньої (С) та низької (Н)) якості навколишнього середовища особливо доцільним є у тих випадках, коли розглядають чинники антропогенного походження (екологічна характеристика представлена правою частиною кривої нормального розподілу: в діапазоні від 0 до $+\infty$, оскільки концентрація забруднювальної речовини в довкіллі не може бути від'ємною). Для визначення означених зон якості, запропоновано використовувати метод чисельного диференціювання функції: отримані перша ($f'(x)$) та друга ($f''(x)$) похідні екологічної характеристики дозволяють емпірично більш точно визначити зони толерантності (В), стресу (С) та загибелі (Н).

У **четвертому розділі**, використовуючи інструменти статистики, у середовищі програмування R та MS Excel здійснено аналіз впливу «глухого» зарегулювання русла річки Південний Буг та будівництва Южно-Українського

енергокомплексу у 80–90-х роках ХХ століття на рівень забезпеченості її середньомісячного та середньорічного стоку у нижній течії. Маючи масив даних за 80 років, виокремлено дві вибірки: за 1936–1983 рр. (до початку будівництва зазначеного техногенного об'єкту, вектор x_1) та 1984–2016 рр. (після початку будівництва відповідно, вектор x_2). За допомогою критерію Стьюдента, проведено перевірку впливу фактора зарегулювання на річний гідрологічний режим річки Південний Буг.

Оскільки логічний аналіз результатів методу порівняння двох залежних (парних) вибірок виявив їхню некоректність, було вирішено використати одновибірковий t-критерій. Оцінено значимість зміни середніх витрат води в річці Південний Буг після спорудження Южно-Українського атомного енергокомплексу (ЮУ АЕК), визначивши середні витрати води за 1936–1983 роки на рівні $94,83 \text{ м}^3/\text{с}$ ($m = 94.83$). У цьому випадку однопараметричний аналіз за критерієм Стьюдента показав, що ймовірність отримати таке (або більше) значення t за умови, що досліджувана нульова гіпотеза правильна (тобто зарегулювання і експлуатація ЮУ АЕК не впливає на рівень витрат води в нижній течії річки), виявилася досить малою: $p\text{-value} = 0.06577$ (на рівні, близькому до 5%). Відповідно, нульова гіпотеза відхилена та прийнята альтернативна. Ризик помилки, за таких умов, складає близько 6,5%. При цьому середньорічне значення витрат води у 95% випадків коливатиметься в діапазоні від 59,65 до 96,14 $\text{м}^3/\text{с}$.

Побудовано річний вірогіднісний розподіл витрат води в річці Південний Буг, який доводить, що після введення в експлуатацію ЮУ АЕК водність річки в нижній течії почала зменшуватись. Це підтверджено використанням методу різницевої інтегральної кривої (рис. 3).

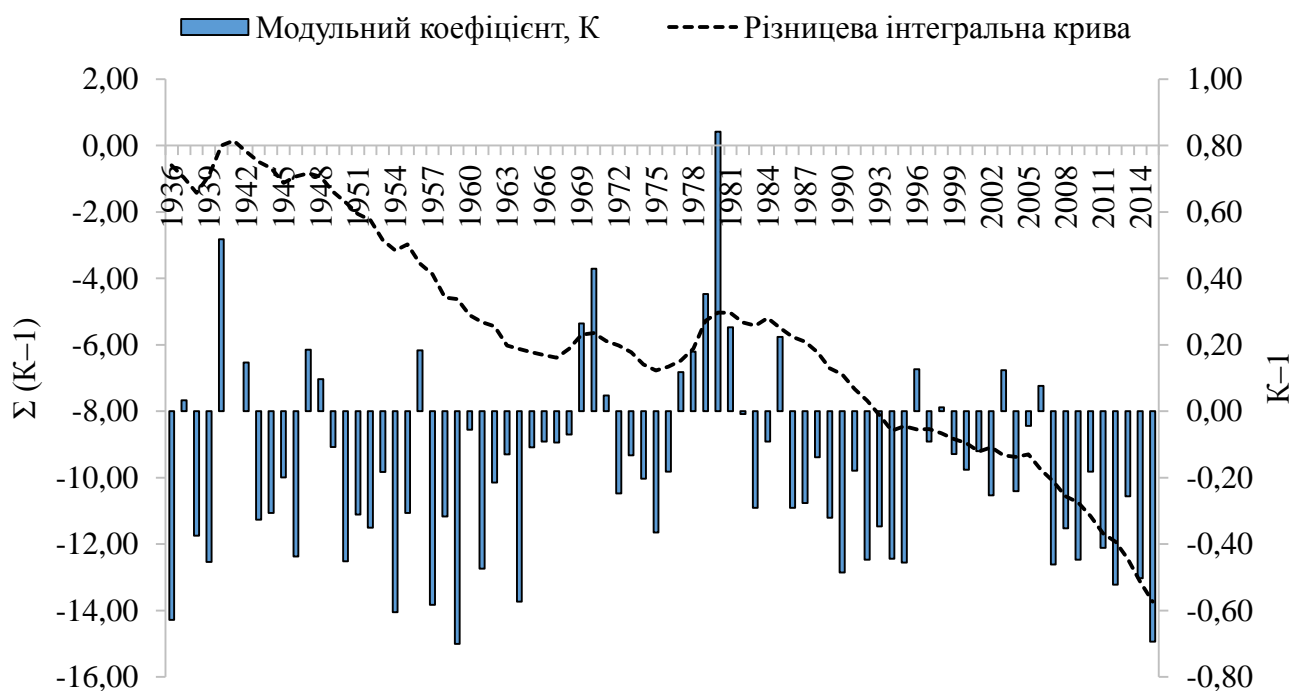


Рис. 3. Різницева інтегральна крива та графік модульних коефіцієнтів річного стоку річки Південний Буг за 1936–2016 роки

Одним із досить імовірних наслідків маловоддя в нижній течії річки є підвищення концентрації забруднювальних речовин у воді, які надходять разом з господарсько-побутовими скидами. У результаті порівняння двох вибірок за критерієм Стьюдента в модифікації Уелча, з 99 % впевненістю можна стверджувати про те, що концентрація фосфатів у річці Південний Буг обернено пропорційно залежить від витрат води ($p\text{-value} = 1.322e-06$).

Моделювання зв'язку середньомісячної концентрації нітратів і середньомісячних витрат води в річці у середовищі MS Excel дозволило встановити досить значиму ($R^2 = 0,7357$) залежність (4):

$$y = 252,49 \cdot \ln(x) - 936,96. \quad (4)$$

Імовірність того, що за сучасних умов зі збільшенням витрат води в річці концентрація нітратів залишиться незмінною або зменшиться складає 2 % ($p\text{-value} = 0.01817$). Аналогічні результати отримано для синтетичних поверхнево активних речовин ($R^2 = 0,9031$) (5):

$$y = 5,5013e^{0,025 \cdot x}. \quad (5)$$

Встановлено, що стік річки поступово зменшується, і це явище з різною інтенсивністю буде спостерігатися впродовж найближчих 10–15 років. Ризик маловоддя розраховано на рівні 43,60 % (близько 80 днів) для шести місяців (травень–жовтень), і порівняно з періодом 1936–1983 років він зріс на 7,67 %.

Визначено значення техногенного ризику для Південноукраїнської атомної електростанції в період межені (табл. 3).

Таблиця 3

Визначення господарського ризику для ПУ АЕС

№	Wm	ΔW	B, %	Зупинено блоків	Кількість днів	Ш, млн кВт·год	R, млн кВт·год
1	19	1	55,93	1	1	24	13,42
2					48	26,85	
3					72	40,27	
4	18	2	48,4	2	1	48	23,232
5					96	46,464	
6					144	69,696	
7	17	3	43,6	3	1	72	31,392
8					144	62,784	
9					216	94,176	

Збільшення водозабору для потреб промисловості у верхній течії Південного Бугу, нехтування потребами екологічної системи річки у воді, високий рівень зарегулювання басейну, неврахування закономірностей функціонування водної та прилеглих природних комплексів, незбалансований підхід до природокористування зумовили те, що індекс екологічної безпеки регіону методом токсико-енергетичного відгуку оцінено на рівні 0,2–0,3 в діапазоні від 0 до 1.

Розроблено методику оцінювання ефективності методу токсико-енергетичного відгуку в процесі забезпечення екологічної безпеки на місцевому та регіональному рівні. Враховуючи необхідність універсальності, простоти оцінювання

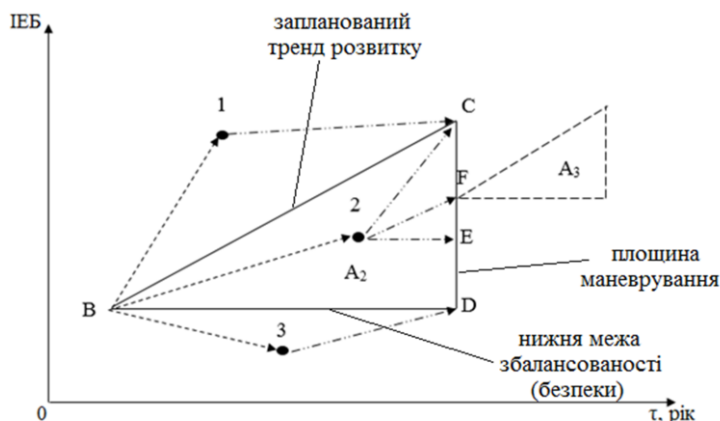


Рис. 4. Алгоритм управління екологічною безпекою природної системи в певному часовому періоді розвитку

ваним і незбалансованим розвитком (вектор В-3); катет DC – площина маневрування. У випадку з вектором В-1 треба прямувати до запланованої точки C . У точці 2, залежно від експертного рішення, формується напрямок подальшого вектора розвитку.

ВИСНОВКИ

У дисертації подано розв'язання актуального науково-практичного завдання, що полягає у розробленні методу токсико-енергетичного відгуку для комплексно оцінювання рівня екологічної безпеки соціоекологічних систем.

Найважливіші наукові та практичні результати, які одержано в дисертації:

1. Доведено, що наявна (антропоцентрична) модель забезпечення екологічної безпеки, яка ґрунтується на використанні поняття «гранично допустимого значення» забрудника, не може об'єктивно реагувати на зміни в стані природних систем. Нормування антропогенного навантаження на довкілля має ґрунтуватися на такому принципі: під час обґрунтування меж свого впливу на навколишнє середовище керуватися не стійкістю людського організму до впливу негативного чинника, а екологічними характеристиками найчутливіших компонентів довкілля – стенобіонтів.

2. Водні об'єкти є кінцевою і найвразливішою ланкою міграції більшості забруднювальних речовин, що надходять у навколишнє середовище, а кількість і якість водних ресурсів – ключовим і визначальним чинником рівня розвитку суспільства та його здоров'я. За рахунок використання екологічних характеристик гідробіонтів річки та інтегрування біосферних законів у чисельне значення індексу, розроблено метод токсико-енергетичного відгуку, який дозволив зменшити значення похибок оцінки стану довкілля.

3. На основі розробленого методу токсикологічного стенобіонтного оцінювання рівня екологічної безпеки водної екосистеми індекс екологічної

та механізму застосування на практиці розроблених індексів та індикаторів розвитку, запропоновано планово-ситуативний алгоритм забезпечення екологічної безпеки регіону (рис. 4). Планування розвитку у вигляді трикутників пояснюється простою та функціонально влучною будовою фігури. По-перше, кожна його сторона добре описується рівнянням прямої. По-друге, гіпотенуза (BC) виконує роль вектора розвитку, який планується; катет основи (BD) – межа між прогресом і регресом, збалансо-

безпеки у діапазоні $0 < ІЕБ < 1$ визначено на рівні 0,18, що свідчить про надзвичайно низький рівень екологічної безпеки річки. Визначення екологічної безпеки регіону способом оцінювання сталості потоків енергії у водній екосистемі чисельно склало 0,31, що повністю відображає регресійний стан взаємозв'язків людини і природи у соціоекосистемі регіонального рівня.

4. Розроблено схему планово-ситуативного управління екологічною безпекою регіону, яка дозволяє відійти від точкового планування розвитку до діапазонного з трьома точками (у вигляді трикутника), які сполучено між собою лініями запланованого тренду розвитку, площини маневрування та нижньої межі збалансованості (безпеки). Чисельну характеристику розвитку запропоновано здійснювати методом матриць або інтегрального числення.

5. Запропоновано метод визначення якості навколишнього середовища на основі чисельного диференціювання отриманих екологічних характеристик гідробіонтів екосистем, що в подальшому може бути застосований під час визначення господарських ризиків природокористування та нормування антропогенного навантаження на довкілля.

6. На основі використання методів статистичного аналізу просторово-часового розподілу стоку Південного Бугу, з достовірністю 95 % можна вважати, що водність річки у її нижній течії зменшується. Явище маловоддя, яке буде спостерігатися і підсилюватися в найближчі 10–15 років, істотно інтенсифікувало введення в експлуатацію Южно-Українського атомного енергокомплексу.

7. Розраховано господарський ризик для техногенного об'єкту (Південно-Української атомної електростанції) в період межені, мінімальним значенням якого є 13,42 млн кВт·год за умов відключення від електромережі одного ядерного блоку на одну добу. Найгострішою є проблема пріоритетизації потреб у воді між екосистемою річки та промисловим підприємством у період з червня по вересень, і досить значимою є у травні та жовтні. Щорічний розмір екологічної шкоди від нераціонального (незбалансованого) природокористування (на прикладі рибного господарства) у нижній течії річки Південний Буг у XXI столітті оцінено на рівні $5,5 \cdot 10^9$ ккал, а економічної – близько 250 млн грн (за цінами 2012 року).

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Статті у наукових виданнях, які включені до наукометричної бази даних Scopus

1. Безсонов Є. М. Обґрунтування та формалізація підходу до оцінювання екологічної безпеки регіону / Є. М. Безсонов, В. І. Андрєєв // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – № 2/10(80), 2016 Екологія. – Харків : НПП ЧП «Технологический Центр», 2016. – с. 9–18.

2. Bezsonov Ye. M., Andreev V. I., Smyrnov V. M. (2016). Assessment of safety index for water ecological system. East-Europe Journal of Enterprise Technologies, 6/10 (84), 24–34.

3. Bezsonov Ye., Mitryasova O., Smyrnov V., Smyrnova S. (2017). Influence of the South-Ukraine electric power producing complex on the ecological condition of the Southern Bug River. *East-Europe Journal of Enterprise Technologies*, 4/10 (88), 20–28.

Статті у наукових фахових виданнях України

4. Безсонов Є. М. Визначення аспектів оцінки показника сталого розвитку регіону / Є. М. Безсонов / Наукові праці : науково-методичний журнал. – Вип. 226. Т. 238. Техногенна безпека. – Миколаїв : Вид-во ЧДУ ім. Петра Могили, 2014. – 124 с. – с. 9–13.

5. Безсонов Є. М. Екологічна складова сталого розвитку : обґрунтування пріоритетності та шляхи забезпечення / Є. М. Безсонов, В. І. Андрєєв / Вісник Вінницького політехнічного інституту. – Вінниця : ВНТУ, 2015. – № 6 (123). – с. 23–29.

6. Безсонов Є. М. Визначення теоретичних основ алгоритму забезпечення екологічної безпеки регіону // Є. М. Безсонов, В. І. Андрєєв / Наукові праці : науково-методичний журнал. – Вип. 277. Т. 289. Техногенна безпека. – Миколаїв : Вид-во ЧДУ ім. Петра Могили, 2017. – с. 65–74.

Статті у колективних монографіях

7. Andreev V. I., Bezsonov Ye. M., Andreeva N. Yu. (2016). Water ecosystem ecological safety assessment by the determination of energy flow sustainability. – *Water security : Monograph*. – Mykolaiv : PMBSNU – Bristol : UWE, 2016. – 308 p. – p. 7–20. – ISBN 978-617-7421-13-8.

Статті в інших виданнях

8. Безсонов Є. М. Забезпечення екологічної безпеки Південного Бугу в контексті сталого розвитку м. Миколаїв / Є. М. Безсонов, В. І. Андрєєв / Наукові праці : науково-методичний журнал. – Вип. 276. Т. 288. Екологія. – Миколаїв : Вид-во ЧНУ ім. Петра Могили, 2016. – 128 с. – с. 18–26.

9. Добровольський В. В. Метод оцінки якості навколишнього середовища / В. В. Добровольський, Є. М. Безсонов / Наукові праці : науково-методичний журнал. – Вип. 276. Т. 288. Екологія. – Миколаїв : Вид-во ЧНУ ім. Петра Могили, 2016. – 128 с. – с. 12–17.

10. Безсонов Є. М. Енергопродуктивність екосистем у контексті переходу до збалансованого розвитку / Є. М. Безсонов // Екологічний вісник. – № 5, 2016. – с. 19–21.

Тези доповідей та матеріали конференцій

11. Безсонов Є. М. Екологічна безпека регіону: визначення принципів забезпечення / Є. М. Безсонов / Збірка тез доповідей XVIII Міжнародної науково-практичної конференції студентів, аспірантів і молодих учених «Екологія. Людина. Суспільство» (м. Київ) / Укладач Д. Е. Бенатов. – К. : НТУУ «КПІ», 2015. – с. 151.

12. Безсонов Є. М. Неоантропоцентричний підхід до забезпечення екологічної безпеки екосистеми / Є. М. Безсонов / «Ольвійський форум – 2015 : стратегії країн Причорноморського регіону в геополітичному просторі» : тези. – Миколаїв : Вид-во ЧДУ ім. Петра Могили, 2015. – Том 2. – 200 с. – с. 165–167.

13. Безсонов Є. М. Переорієнтація оціночних показників екологічної безпеки / Є. М. Безсонов / V-й Всеукраїнський з'їзд екологів з міжнародною участю (Екологія/Ecology-2015) 23–26 вересня, 2015. Збірник наукових праць. – Вінниця : ТОВ «Нілан-ЛТД», 2015. – 280 с. – с. 33.

14. Безсонов Є. М. Економічна оцінка вагомості біотичного компоненту екосистеми / Є. М. Безсонов / XII Міжнародна науково-практична конференція «Проблеми екологічної безпеки» / Матеріали конференції. – Кременчук : КрНУ, 2015. – 102 с. – с. 83.

15. Добровольський В. В. Оцінка якості навколишнього середовища з урахуванням екологічних ризиків / В. В. Добровольський, Є. М. Безсонов / Міжнародна науково-практична конференція «Ольвійський форум – 2016 : стратегії країн Причорноморського регіону в геополітичному просторі» : тези. – Том 1. – Миколаїв : Вид-во ЧНУ ім. Петра Могили, 2016. – с. 44–46.

16. Безсонов Є. М. Біопродуктивність як інтегральний показник безпеки екологічних систем / Є. М. Безсонов / Всеукраїнська науково-методична конференція «Могилянські читання – 2016 : досвід та тенденції розвитку суспільства в Україні: глобальний, національний та регіональний аспекти» : збірник тез. – Том 6. – Миколаїв : Вид-во ЧНУ ім. Петра Могили, 2016. – с. 45–49.

17. Безсонов Є. М. Визначення вагомості біотичних ресурсів у контексті сталого розвитку соціоекологічних систем / Є. М. Безсонов, В. І. Андрєєв / Сучасний стан та якість навколишнього середовища окремих регіонів : Матеріали Міжнародної наукової конференції молодих вчених ; Одеськ. держ. еколог. ун-т. – Одеса : ТЕС, 2016. – с. 35–38.

18. Безсонов Є. М. Планово-ситуативний алгоритм управління екологічною складовою сталого розвитку / Є. М. Безсонов / Стратегії сталого розвитку : на шляху до сильнішої громади: матеріали наук.-практ. конф., 21 жовтня 2016 р., м. Северодонецьк / укл. Семененко І. М. – Северодонецьк : Вид-во СНУ ім. В. Даля, 2016. – с. 135–136.

19. Безсонов Є. М. Визначник матриці та інтегрування як інструменти оцінки розвитку регіону / Є. М. Безсонов, Н. В. Коваль / Наук.-практ. конф. «Екологічна безпека поселення та регіону як основа державної безпеки» : матеріали конференції. – Миколаїв : Вид-во ЧНУ ім. Петра Могили, 2016. – с. 85–88.

20. Безсонов Є. М. Оцінювання безпеки екологічної системи методом стенотопної біоіндикації середовища / Є. М. Безсонов, В. І. Андрєєв / Проблеми техногенно-екологічної безпеки : освіта, наука, практика : зб. матер. Всеукраїн. наук.-практ. конф. / редкол. : О. В. Метєлов та ін. – Х. : ФОП Бровін О. В., 2016. – с. 125–127.

21. Безсонов Є. М. Визначення рівня екологічної безпеки Миколаївського регіону // Є. М. Безсонов / Екологічна безпека держави: тези доповідей XI Всеукраїнської науково-практичної конференції молодих учених і студентів.

м. Київ, 20 квітня 2017 року, Національний авіаційний університет / редкол. О. І. Запорожець та ін. – К. : НАУ, 2017. – с. 104–105.

22. Безсонов Є. М. Визначення зони якості навколишнього середовища з метою обґрунтування та оцінки рівня екологічної безпеки // Є. М. Безсонов, В. І. Андрєєв / Четвертий студентський Конгрес «Захист навколишнього середовища. Збалансоване природокористування». – Львів, 26-27 квітня, 2017 року. – с. 7–10.

АНОТАЦІЯ

Безсонов Є. М. Визначення рівня екологічної безпеки регіону методом токсико-енергетичного відгуку біотичних компонентів водних екосистем. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 21.06.01 «Екологічна безпека». – Національний університет «Львівська політехніка», Міністерство освіти і науки України, 2018.

У дисертації представлено розв’язання актуальної науково-практичної задачі, що полягає в розробленні комплексного методу оцінювання рівня екологічної безпеки регіону на основі дослідження показників біотичних компонентів її водних екосистем як останньої ланки в навколишньому середовищі, на яку накладається вся сукупність трансформаційних процесів прямого та опосередкованого багатofакторного впливу. Водні екологічні системи визначено оптимальним інтегральним показником стану взаємовідносин людини і природи в конкретній соціоекологічній системі регіонального або локального рівня. В основу оцінювання та забезпечення екологічної безпеки регіону покладено кількісні показники стенобіотичних компонентів водних екосистем, теоретичні основи біосферних законів толерантності (оптимальності), ускладнення та розподілу енергії у ланцюгах живлення. На базі означених складових розроблено метод токсико-енергетичного відгуку, який оперує введеними поняттями «показника потенційної смертності» та «енергетичної ніші», спорідненої за певною ознакою групи організмів. Запропоновано методикау їхнього визначення.

Експериментально доведено шкідливий вплив стічних вод на стенобіонтні організми, зокрема родини *Gammaridae*. На основі польових та камеральних досліджень визначено токсикологічну та енергетичну функцію відгуку гідробіонтів річки на дію комплексу природних та антропогенних чинників. Встановлено закономірності реакції, які використано під час розрахунку індексу екологічної безпеки річки Південний Буг та інтегровано в чисельне значення рівня екологічної безпеки регіону.

На прикладі Миколаївського регіону України проаналізовано причинно-наслідкові зв’язки між промисловим комплексом та природним середовищем, які визначають низьке поточне значення розробленого індексу екологічної безпеки. Встановлено, що визначальним чинником формування екологічної безпеки водної екосистеми і прилеглих соціоекологічних систем є рівень зарегулювання басейну.

У середовищі програмування R та MS Excel визначено ступінь кореляційного зв’язку між водністю річки та її гідрохімічними показниками. З використанням

методів статистичного аналізу доведено, що водність досліджуваної водної екосистеми зменшується.

Розроблено дев'ятиступеневий алгоритм визначення рівня екологічної безпеки природних та соціоекологічних систем на основі використання методу токсико-енергетичного відгуку. Обґрунтовано планово-ситуативний алгоритм забезпечення екологічної безпеки. Визначено техногенний ризик для промислового об'єкту в басейні річки (на прикладі Южно-Українського атомного енергокомплексу). Запропоновано методики визначення розміру екологічної шкоди для водної екосистеми в енергетичному еквіваленті. Обґрунтовано межі природокористування та визначено орієнтовні об'єми певних екосистемних послуг річки. Досліджено ефективність використання показника окисно-відновного потенціалу природних вод для оцінювання їхньої якості і стану екосистеми загалом.

Результати аналізу міжнародного екологічного права довели, що забезпечення екологічної безпеки має зайняти пріоритетне місце в системі сталого розвитку соціоекосистем.

Ключові слова: рівень екологічної безпеки; водна екосистема; метод токсико-енергетичного відгуку; стенобіонти, енергетична ніша; екологічний ризик; алгоритм забезпечення.

АННОТАЦІЯ

Бессонов Е. Н. Определение уровня экологической безопасности региона методом токсико-энергетического отклика биотических компонентов водных экосистем. – На правах рукописи.

Диссертация на соискание научной степени кандидата технических наук по специальности 21.06.01 «Экологическая безопасность». – Национальный университет «Львовська політехніка», Министерство образования и науки Украины, 2018.

В диссертации представлено решение актуальной научно-практической задачи, которая заключается в разработке комплексного метода оценки уровня экологической безопасности региона на основе исследования показателей биотических компонентов её водных экосистем как последнего звена в окружающей среде, на которое накладывается вся совокупность трансформационных процессов прямого и посредственного многофакторного влияния. Водные экологические системы определены оптимальным интегральным показателем состояния взаимоотношений человека и природы в конкретной социоэкологической системе регионального или локального уровня. Основу системы оценивания и обеспечения экологической безопасности региона составляют количественные показатели стенобионтных компонентов водных экосистем, теоретические основы биосферных законов толерантности Шелфорда, усложнения и распределения энергии в пищевых цепях. На базе этого, разработан метод токсико-энергетического отклика, который оперирует введенными понятиями «показателя потенциальной смертности» и «энергетической ниши», схожих по определенному признаку группы организмов.

Экспериментально определены закономерности реакции стенобионтов на действие загрязняющего вещества, которые использованы при расчетах индекса

экологической безопасности реки Южный Буг и интегрированы в численное значение уровня экологической безопасности региона. Установлено, что определяющим фактором формирования экологической безопасности водной экосистемы и примыкающих социоэкологических систем является уровень зарегулирования бассейна. Используя методы статистического анализа доказано, что водность исследуемой водной экосистемы уменьшается.

Разработан девятиступенчатый алгоритм определения уровня экологической безопасности природных и социоэкологических систем. Обоснован планово-ситуативный алгоритм обеспечения экологической безопасности. Рассчитано значение техногенного риска для промышленного объекта в бассейне реки (на примере Южно-Украинского атомного энергокомплекса). Предложены методики определения размера экологического вреда для водной экосистемы в энергетическом эквиваленте. Обоснованы границы природопользования и рассчитан объем некоторых экосистемных услуг реки. Исследована эффективность использования показателя окислительно-восстановительного потенциала природных вод для оценивания уровня их качества и состояния экологической системы в целом.

Ключевые слова: уровень экологической безопасности; водная экосистема; метод токсико-энергетического отклика; стенобионты; энергетическая ниша; экологический риск; алгоритм обеспечения.

ABSTRACT

Bezsonov Ye. M. Determination of the region ecological safety level by the method of toxic-energy response of the water ecosystem biotic components. – On the rights of manuscript.

Dissertation for the degree of Ph.D., specialty 21.06.01 – ecological safety.

Thesis for the degree of Candidate of Technical Sciences by specialty 21.06.01 «Ecological safety». – Lviv Polytechnic National University, the Ministry of Education and Science of Ukraine, 2018.

The dissertation presents the solution of the actual scientific and practical task, which consists in developing a comprehensive method for assessing the level of ecological safety in the region. It is based on the study of indicators of local water ecosystems biotic components, as the last link in the environment, which is imposed on the entire set of transformational processes of direct and indirect multifactorial influence. Aquatic ecological systems are considered the most objective integral indicator of the relationship between man and nature in a specific socioecological system of the regional or local level. Quantitative indicators of the stenobiotic components of aquatic ecosystems, the theoretical foundations of the Biosphere Laws such as tolerance of Shelford's, the complexity and energy distribution in food chains are determined as the basis of assessment and provision system of the region ecological safety. Using the mentioned constituents, a method of toxic-energy response is developed, which operates with the concepts of «indicator of potential mortality» and «energy niche» related to a certain feature of a group of organisms. The methodology of their determination is also developed.

The harmfulness of the sewage factor on the stenobionous organisms, in particular the *Gammaridae* family, has been experimentally proved. Based on field and cell

research, the toxicological and energy response functions of river hydrobionts to the complex of natural and anthropogenic factors action was determined. The established regularities of the reaction are used in calculating the ecological safety index for the Southern Bug River.

On the example of the Mykolaiv region of Ukraine, the causal relationships between the industrial complex of man and the natural environment, which determine the low current value of the proposed index, are analyzed. It was established that the determining factor for the formation of ecological safety of the water ecosystem and the surrounding socioecological systems is the level of damming in the basin.

In the R environment and MS Excel, the degree of correlation between river water flow and its hydrochemical parameters is determined. Using the methods of statistical analysis, it has been proved that the water content of the investigated aquatic ecosystem is reduced.

A nine-step algorithm for determining the level of ecological safety of natural and socioecological systems, using the method of toxic-energy response, was developed. The plan-situational algorithm for ensuring environmental safety was substantiated. The man-made risk for an industrial object in the river basin (for the South-Ukrainian Nuclear Energy Complex) was determined. The methodologies of calculating the size of ecological damage for water ecosystems in the energy equivalent are proposed. The limits of nature use are grounded and the estimated volumes of ecosystem services of the river are determined. The efficiency of using the index of oxidation-reduction potential of natural waters for the estimation of their quality level and the state of the ecological system in general was investigated.

The results of the analysis of international environmental law prove that the providing of ecological safety should take a priority place in the system of socioecosystems sustainable development.

Keywords: ecological safety level; water ecosystem; method of toxic-energy response; stenobionts; energy niche; ecological risk; providing algorithm.

Підп. до друку 26.05.2018.
Формат $60 \times 84 \frac{1}{16}$. Папір офсетний.
Гарнітура «Times New Roman». Друк ризограф.
Умовн. друк. арк. 0,9. Тираж 100 пр. Зам. 5503.

Видавець і виготовлювач: ЧНУ ім. Петра Могили.
54003, м. Миколаїв, вул. 68 Десантників, 10.
Тел.: (0512)50-03-32, (0512)56-55-81
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 6124 від 05.04.2018.

