

УДК 504.064

РОЗРОБЛЕННЯ МЕТОДИЧНОГО ПІДХОДУ ДО ВИЗНАЧЕННЯ ЕКОЛОГІЧНИХ РИЗИКІВ ЗАБРУДНЕННЯ ВОДНИХ ОБ'ЄКТІВ У МЕЖАХ ІНДУСТРІАЛЬНО РОЗВИНУТИХ ТЕРИТОРІЙ (НА ПРИКЛАДІ РІЧОК МІСТА ХАРКІВ)

Н. С. Лобода, Н. Д. Отченаш, Н. О. Федіна

Одеський державний екологічний університет,
вул. Львівська, 15, 65016, Одеса, Україна,
natalie.loboda@gmail.com
<http://orcid.org/0000-0002-0794-9951>

Актуальність дослідження полягає у необхідності визначення перспектив досягнення доброго екологічного статусу водних об'єктів України у відповідності із Водною Рамковою Директивою Європейського Союзу про встановлення рамок діяльності Співтовариства у сфері водної політики. Питання щодо спроможності досягнення поставлених цілей пов'язане з оцінками екологічних ризиків забруднення поверхневих вод хімічними речовинами. Метою дослідження є розроблення нових підходів до установа ризиків забруднення поверхневих вод річок індустріально розвинутих територій. Дослідження виконано на матеріалах гідрохімічних спостережень на річках Лопань та Харків, які знаходяться у межах міста Харків та підлягають забрудненню як промисловими скидами, так і скидами побутово-комунальних підприємств. Основою роботи є застосування ймовірнісного підходу до визначення кількісних показників екологічних ризиків з використанням статистичного розподілу цих показників. Наукова новизна полягає у пропозиції визначення модифікованих індексів забруднення води та показників ризику забруднення окремо для біогенних речовин та важких металів, що дозволяє виконувати оцінку перспектив досягнення доброго екологічного стану під час забруднення поверхневих вод від різних джерел. Результатом досліджень є методика побудови шкали якісного і кількісного оцінювання екологічних ризиків та їх наслідків шляхом семантичного узгодження градацій показників якості водного середовища і показників ризиків забруднення хімічними речовинами. Дослідження, виконане для річок Харків та Лопань, показало, що існує тісний зв'язок між показниками екологічного ризику та індексами забруднення води. Виявлені залежності дозволили узгодити семантичну градацію шкал якості водного середовища та шкал ризиків. Для практичного застосування розробленої методики достатньо на основі даних спостережень розрахувати модифікований індекс забруднення важкими металами або біогенними речовинами і за шкалою екологічних ризиків установити можливу зону ризику та відповідну екологічну ситуацію. Запропоновані підходи рекомендуються до використання під час визначення екологічних ризиків забруднення у межах індустріально розвинутих територій різних країн.

Ключові слова: екологічний ризик; модифікований індекс забруднення води; шкала якісного та кількісного оцінювання рівнів ризиків; зона екологічного ризику; екологічна ситуація; річки міста Харків

1. ВСТУП

Актуальність роботи обумовлена задачами, поставленими перед Україною Європейським Союзом та його державами-членами після підписання угоди про асоціацію у різних сферах суспільного життя, включаючи сферу охорони довкілля [1]. Згідно з Водною Рамковою Директивою (Директива 2000/60/ЄС Європейського парламенту і Ради про встановлення рамок діяльності співтовариства у сфері водної політики) мають бути виявлені перспективи досягнення доброго статусу водних

об'єктів України [2]. Хімічний статус визначається за пріоритетними забруднювальними речовинами. Особливо складним буде досягнення цієї мети на тих територіях, де має місце значне антропогенне навантаження, яке суттєво впливає на кількісний та якісний стан поверхневих і підземних вод. У законі України «Про основні засади (стратегію) державної екологічної політики України на період до 2030 року», прийнятому 28 лютого 2019 року, № 2697-VIII зазначається, що однією з причин появи в Україні проблем екологічного характеру є «підпорядкованість

екологічних пріоритетів економічній доцільності». На території індустріально розвинутої ще з XVIII сторіччя Харківської області [3] розміщені хімічні, металургійні заводи, підприємства важкої промисловості, які є споживачами значної кількості води річок та слугують джерелом забруднення поверхневих вод [4]. Забір води з поверхневих вод здійснюють 39 підприємств Харківської області [5]. Окремим джерелом забруднення річок є скид стічних вод підприємствами житлово-комунальних господарств та їх надходження з поверхневим та під поверхневим стоком з сільськогосподарських земель [6].

Важливе місце у вирішенні проблеми досягнення доброго екологічного статусу водних об'єктів займає оцінка екологічних ризиків забруднення поверхневих вод хімічними речовинами. Методи розрахунків кількісних показників ризиків забруднення та відповідної оцінки екологічного стану водних об'єктів знаходяться у стадії свого розвитку та визначаються за різним методами. У зв'язку із цим метою роботи є розроблення нових підходів до визначення ризиків забруднення поверхневих вод річок індустріально розвинутих регіонів, де забруднення важкими металами поєднується із забрудненням органічними речовинами. Дослідження виконане на даних гідрохімічних спостережень річок Харків та Лопань, які знаходяться на території міста Харків.

Предметом дослідження є високий рівень антропогенного забруднення поверхневих вод річок міста Харків (річка Харків, річка Лопань) важкими металами та біогенними речовинами.

Об'єктом дослідження є розроблення нових підходів до кількісної оцінки екологічних ризиків забруднення річок важкими металами та біогенними речовинами (на прикладі річок Харків та Лопань).

Робота виконана в рамках науково-дослідної теми кафедри гідроекології та водних досліджень Одеського державного екологічного університету «Оцінка антропогенного впливу на водні екосистеми», термін виконання проекту: 2018 – 2022 рр. № держ. реєстр. 0118U001220 [7].

2. ОПИС ВОДНИХ ОБ'ЄКТІВ

У межах міста Харків протікають річки Харків (довжина 71 км, площа водозбору 1160 км², впадає в річку Лопань) та Лопань (довжина 93 км, площа водозбору 2000 км², впадає у річку Уди). У свою чергу, річка Уди,

яка приймає до себе води річок Харків та Лопань, є однією з найбільш забруднених річок України [8]. У річку Лопань скидаються води таких заводів: ДП «Харківський бронетанковий завод», ДП «Харківський завод спеціальних машин», ДП «Харківський машинобудівний завод імені Т.Г.Шевченка» та інші, але найбільший об'єм скиду стічних вод припадає на підприємство «Міські очисні споруди №1 (КБО «Диканьківський»)» ліміт скиду якого дорівнює 240 млн. м³/рік, у той час як середній багаторічний стік цієї річки становить 122 млн.м³ [9].

На поверхні водозбору річки Харків знаходяться заводи: Харківський тракторний завод, Харківський електротехнічний завод, Харківське державне авіаційне виробниче підприємство та інші. Також у річку Харків скидаються води двох підприємств: КП «Харківський метрополітен» (0,0565 млн.м³), ТОВ «Фармацевтична компанія здоров'я» (0,0128 млн.м³). Такі об'єми скидів менш значні у порівнянні із комунальними скидами у р. Лопань.

За результатами досліджень даних спостережень річки Лопань – місто Харків (у межах міста) та річки Харків – місто Харків (у межах міста) в період з 1990 року по 2015 рік до основних забруднювальних речовин віднесені ті, що мають найбільше середнє багаторічне перевищення гранично допустимої норми.

Установлено, що для р. Лопань - м. Харків основними забруднювальними речовинами є: біхроматне окислення, азот амонійний та нітритний, фосфор загальний, мідь та хром шестивалентний. Для р. Харків – м. Харків основними забруднювальними речовинами є: біхроматне окислення, мідь, цинк, хром та марганець [10].

Концентрації біогенних речовин на річці Лопань значно перевищують відповідні концентрації на річці Харків. Концентрації важких металів у воді річок Лопань та Харків майже однакові за виключенням 90-х років минулого сторіччя, коли об'єми промислового виробництва у басейні річки Харків були більшими.

3. ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ

Ризик можна розглядати як якісну або кількісну характеристику ситуації, що має невизначеність результату, при обов'язковій наявності несприятливих наслідків [11]. Показники екологічного ризику можуть

визначатися за інтегральними показниками, які характеризують стан навколишнього середовища. Наприклад, це можуть бути інтегральні показники, які включають до себе кількісні характеристики стану ґрунтів та земельних ресурсів [12] або характеристики хімічного складу ґрунтів та донних наносів, а також масштабів антропогенної діяльності у вигляді площ сільськогосподарських земель, розораності, залісеності та інше [13]. Для визначення інтегральних показників ризику розробляються спеціальні моделі, де використовується багато специфічних параметрів. У роботі [14] оцінка ризику забруднення підземних вод нітратами була виконана з використанням моделі DRASTIC та географічної інформаційної системи (ГІС). Модель DRASTIC використовує багато специфічних параметрів, таких як глибина ґрунтових вод, поповнення їх запасів, товщина водоносного шару, характеристики ґрунтів, топографічні дані тощо.

Кількісний аналіз ризиків виконується за допомогою математичних і статистичних методів, таких як: статистичний метод; метод оцінки ймовірності очікуваного збитку; метод мінімізації втрат; метод використання дерева ймовірностей [15]. У загальному випадку кількісна оцінка екологічного ризику на базі стохастичної моделі може визначатися як добуток ймовірності виникнення небезпечної екологічної події помноженої на наслідки цієї події. Метод оцінки ймовірності очікуваного збитку заснований на тому, що ступінь ризику визначається як добуток очікуваного збитку на ймовірність того, що цей збиток буде мати місце [16]. Характеристикою збитку може бути кількість жертв, число зруйнованих об'єктів, величина недоотриманого врожаю, рівень або масштаб забруднення території та інше. Характеристики збитку можуть мати біологічне походження. Наприклад, кількість хлорофілу-аубіомасі фітопланктону може використовуватися показник збитку при оцінках ризику евтрофікації водойм [17]. Однак, застосування оцінок екологічних ризиків, які базуються на збитку, нанесеному живим організмам, обмежене відсутністю або недостатністю біологічних спостережень у багатьох країнах світу, до яких відноситься і Україна.

Показником екологічних наслідків забруднення річок може слугувати перевищення фактичної концентрації забруднювальної речовини C над її граничною допустимою

концентрацією СГДК: $(C/СГДК)$ [18]. Це відношення або сума таких відношень під час забруднення декількома речовинами лежить в основі визначення більшості комплексних індексів забруднення. Таким чином, комплексні індекси забруднення можуть відігравати роль показника екологічного збитку і використовуватися як основа для розрахунків ризику. Перевагою такого підходу є те, що для кожного індексу забруднення існує вже розроблена градація (шкала оцінки ступеня забруднення), де кожному інтервалу забруднення відповідає своя якісна характеристика забруднення. У роботі [19] шкала градацій складається відповідно до числа Міллера 7 ± 2 [20]. На відміну від індексів забруднення хімічними речовинами при розрахунках показників ризику на основі ймовірнісної моделі ураховується ймовірність збитку (у даному випадку ймовірність перевищення ГДК для кожної з розглянутих забруднювальних речовин). Таким чином, оцінка ризику є середньою зваженою по ймовірності перевищення ГДК концентрацією забруднювальних речовин [21].

У роботі [22] на основі ймовірнісної моделі розроблений метод оцінки екологічного ризику забруднення вод сполуками азоту. У цьому методі запропоновано використовувати у розрахунках ризиків показник чутливості kn до забруднення сполуками азоту [23].

Особливістю робіт, які виконувалися в ОДЕКУ по розробці методів оцінки екологічних ризиків є те, що в них виконувалося узгодження семантичної класифікації показників якості води та показників ризику. Узгодження було запропоновано виконувати на основі стохастичних зв'язків між показниками якості води та показниками ризику, які характеризуються значеннями кореляційних відношень близькими до 1 [24]. Установлено, що семантичне узгодження показників якості води та показників ризику дозволяє отримати якісну та кількісну шкалу екологічних ризиків, за якою можна визначити зону ризику, екологічну ситуацію, рівень збитків в залежності від визначеного показника екологічного ризику R' [25].

Порівняння результатів розрахунків екологічних ризиків за розробленим методом із оцінками поширеного у Європі "пробіт методу" [26,27] показало наявність тісного стохастичного зв'язку, що підтверджує правомірність запропонованого підходу [28].

4. ОПИС МАТЕРІАЛІВ ТА МЕТОДІВ ДОСЛІДЖЕННЯ

Матеріалами досліджень є дані гідрохімічних спостережень досліджуваних річок (Лопань та Харків у межах міста Харків). Спостереження за станом поверхневих вод на території м. Харкова проводиться Харківським обласним центром з гідрометеорології (у 2 створах). Дані взяті з постів №13557. р. Лопань-м. Харків (у межах міста) 0.5 Ш та №13558. р. Харків-м. Харків (у межах міста) 0.5 Ш. Роглянутий період спостережень триває з 1990 року по 2015 рік.

При вирішенні задач оцінки ризиків розраховуються показники R' , які базуються на визначенні співвідношення концентрацій забруднювальної речовини та її ГДК [29]:

$$R' \cong C_i > C_{ГДКi} \quad (1)$$

$$R' = C_i / C_{ГДКi} > 1 \quad (2)$$

$$R' = C_{ГДКi} / C_i > 1 \quad (3)$$

де R' – кількісний показник ризику;

C_i – рівень концентрації i -ї забруднювальної речовини;

$C_{ГДКi}$ – гранично допустима концентрація для i -ї забруднювальної речовини. $C_{ГДКi}$ призначається в залежності від виду водокористувача.

З урахуванням ймовірності настання ризикової події показник ризику R' набуває вигляду

$$R' = \sum_{i=1}^n \frac{C_i}{C_{ГДКi}} \frac{N_{ai}}{N_i} > 1 \quad (4)$$

де C_i – концентрація i -тої забруднювальної речовини;

$C_{ГДКi}$ – гранично допустима концентрація i -тої забруднювальної речовини;

N_{ai} – кількість проб з хімічним показником, коли ГДК було перевищене;

N_i – загальне число відібраних проб.

Підчас розрахунків екологічних ризиків аксіоматичним є допущення, що більшість наслідків господарської діяльності, в тому числі й ті, які зумовлюють забруднення навколишнього середовища (зокрема, водного середовища), являють собою випадкові величини і підкоряються статистичному закону розподілу, близькому до нормального [30].

Перевірка рядів R' за критерієм Гаусса показала, що вони можуть розглядатися як такі, що підпорядковуються нормальному закону.

Одним з методів вирішення завдань експертного визначення ризиків є метод побудови шкали кількісного і якісного показника ризику. Для цих цілей використовується метод семантичного диференціала, що дозволяє словами, які відображають різні ситуації щодо якості водного середовища, оцінити стан ризикових подій в даний момент [21]. Шкала градацій складається відповідно до числа Міллера, рівного 7 ± 2 [20].

Градація шкали ризиків може виглядати так: надзвичайно низький, дуже низький, низький, середній, високий, дуже високий, надзвичайно високий. Градація шкали комплексних показників якості води, наприклад, ІЗВ також утримує у собі 7 класів і виглядає таким чином: дуже чиста, чиста, помірно забруднена, забруднена, брудна, дуже брудна, надзвичайно брудна. Таким чином, градація показників ризику та ступеня забруднення води можуть бути узгоджені між собою, що знайшло своє відображення у роботах під керівництвом проф. Лободи Н.С. [22, 24, 31, 32].

Першим етапом у процесі узгодження класифікацій показників якості води та показників ризику є побудова графіку зв'язку між значеннями ІЗВ та значеннями ризиків R' .

Другий етап полягає у визначенні границь градацій R' , які відповідають границям ІЗВ за допомогою отриманої залежності $R' = f(ІЗВ)$.

Третій етап розрахунків передбачає побудову кривої забезпеченості показника R . Забезпеченість є ймовірністю перевищення заданого значення випадкової величини. Криві забезпеченості представляють собою один із видів математичного опису статистичного закону розподілу випадкової величини.

На четвертому етапі за установленими граничними значеннями R визначаються відповідні значення їх забезпеченості на основі використання емпіричної кривої ймовірності перевищення заданої випадкової величини.

В залежності від класу якості води установлюються зони ризику, надається якісна оцінка рівня збитку та ймовірність попадання у кожну зону. Клас якості води з метою наступного семантичного узгодження показників якості та показників ризику установлювався за індексом ІЗВ (табл. 1).

Таблиця 1 – Критерії оцінки якості вод за індексом забруднення води (ІЗВ)
Table 1 – Criteria for assessing water quality according to the water pollution index (WPI)

Клас якості води	Характеристика класу	Величина ІЗВ
I	Дуже чиста	$\leq 0,30$
II	Чиста	0,31 – 1,00
III	Помірно забруднена	1,01 – 2,50
IV	Забруднена	2,51 – 4,00
V	Брудна	4,01 – 6,00
VI	Дуже брудна	6,01 – 10,0
VII	Надзвичайно брудна	$> 10,0$

Гідрохімічний індекс забруднення ІЗВ, введений в дію Держкомгідрометом колишнього СРСР, відноситься до категорії показників, що найчастіше використовуються для оцінки якості водних об'єктів [33,34]. Він визначається як середнє арифметичне значення перевищення концентрації певних речовин (азот амонійний, азот нітритний, нафтопродукти, феноли, розчинений кисень, БСК):

$$IZB = \frac{1}{6} \sum_{i=1}^n \frac{C_i}{ГДК_i}, \quad (5)$$

де C_i – середня концентрація одного з шести показників якості води;

$ГДК_i$ – гранично допустима концентрація показників якості води (господарське – питне водопостачання), у відповідності із галуззю водопостачання.

За необхідністю розраховується так званий модифікований індекс ІЗВ, в якому використовується також шість показників, а інші беруться за найбільшим відношенням до ГДК.

5. ОПИС РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ

Оскільки попередні дослідження показали, що найбільше перевищення по ГДК спостерігається по важких металах та по біогенним речовинам, що мають різну генетику (наслідки впливу промисловості та скиди комунально-побутових підприємств), то розрахунки показників ризику за (4) та індексів забруднення за (5) відбувалися окремо для

важких металів та біогенних речовин. У своїй роботі автори використали «модифіковані» ІЗВ двох видів. До складу першого виду модифікованого індексу (ІЗВ в.м.) були включені обов'язкові елементи (розчинений кисень, БСК) та важкі метали. До складу другого виду (ІЗВ б) окрім обов'язкових увійшли біогенні речовини (азот амонійний, азот нітритний, азот нітратний, загальний фосфор). Такий підхід дозволив розглянути окремо особливості забруднення річок міста Харків внаслідок скидів промислових підприємств та внаслідок скидів комунально-стічних вод.

Побудовані графіки зв'язку між показниками ризику та показниками забруднення біогенними речовинами (ІЗВ б) та важкими металами (ІЗВ в.м.) описуються експоненціальними функціями (табл. 2). Приклад вигляду однієї з них показаний на рис. 1, виявлено, що показник ризику R' зростає із збільшенням показника якості вод (ІЗВ). Тобто, чим більше забруднення річки, тим більший показник ризику. Після логарифмування отримані експоненціальні функції перетворюються на рівняння прямої лінії, тіснота лінійного зв'язку яких оцінюється через коефіцієнт кореляції R . За отриманими залежностями $R' = f(IZB)$ було виконано перехід від границь класів ІЗВ (табл. 1) до відповідних границь R' . Таким чином було здійснено перший та другий етапи семантичного узгодження класифікацій індексів якості води та показників ризику.

Таблиця 2 – Регресійні рівняння, які описують зв'язок між показниками ризику та індексами забруднення води ІЗВ
Table 2 – Regression equations describing the relationship between risk indicators and water pollution indexes WPI

Річка та вид залежності	Вигляд експоненціальної залежності	Вигляд лінійної залежності	Коефіцієнт кореляції
Лопань $R' = f(ІЗВ_{\phi})$	$R' = 0,309e^{0,429ІЗВ}$	$\ln R' = \ln 0,309 + 0,429 ІЗВ$	0,671
Лопань $R' = f(ІЗВ_{\phi.м.})$	$R' = 0,474e^{0,410ІЗВ}$	$\ln R' = \ln 0,474 + 0,410 ІЗВ$	0,731
Харків $R' = f(ІЗВ_{\phi})$	$R' = 0,564e^{0,462ІЗВ}$	$\ln R' = \ln 0,564 + 0,462 ІЗВ$	0,747
Харків $R' = f(ІЗВ_{\phi.м.})$	$R' = 0,925e^{0,327ІЗВ}$	$\ln R' = \ln 0,925 + 0,327 ІЗВ$	0,895

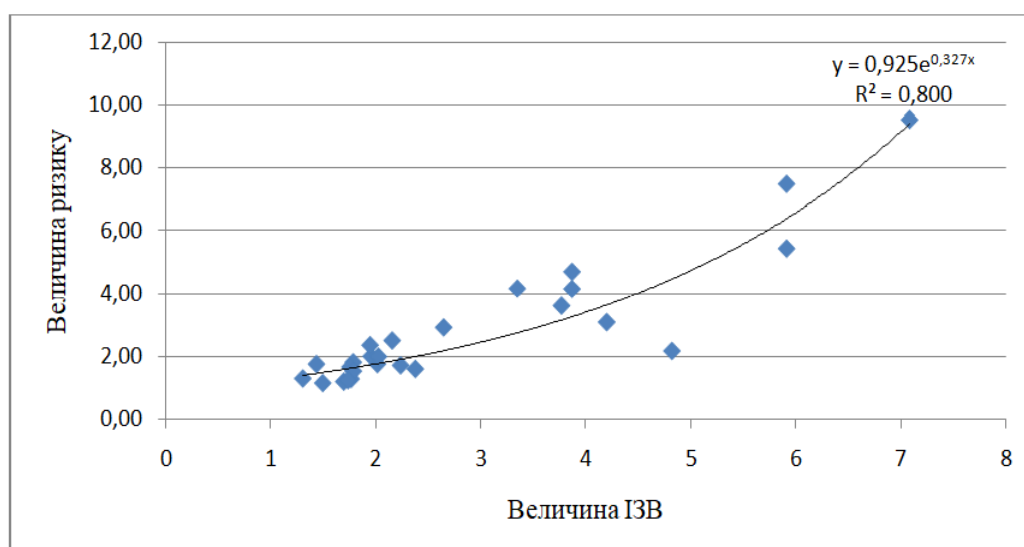


Рис. 1 – Графік залежності ризику R' від показника ІЗВ *в.м.* для річки Харків

Fig. 1 – Graph of the dependence of the risk on the WPI h. m. for the Kharkiv River

Емпіричні криві забезпеченості показників ризику представлені на рис. 2-5. На основі цих кривих за попередньо визначеними значеннями R' установлювався діапазон забезпеченостей для кожного інтервалу шкали та визначалась емпірична ймовірність попадання ризиків у кожен інтервал. Результати розрахунків наведені у таблицях 3-6. В них градації ІЗВ семантично узгоджені із градаціями ризиків R' та зонами ризиків. В залежності від рангу ризику у [21] на основі спеціально розроблених таблиць пропонується визначати ймовірність можливого рівня збитку (маються на увазі можливі

матеріальні, економічні, соціальні та інші втрати), які відбудуться в результаті забруднення води хімічними речовинами) та відповідна кожному рівню якісна характеристика. Таблиці побудовані на основі посилення, що із зростанням ймовірності ризику забруднення води буде зростати ймовірність можливих збитків. Метод семантичного диференціала дозволив шляхом посилення словами, які відображають різні ситуації в зміні якості водного середовища, охарактеризувати загальний стан ризикових подій в даний момент або розрахунковий період [7].

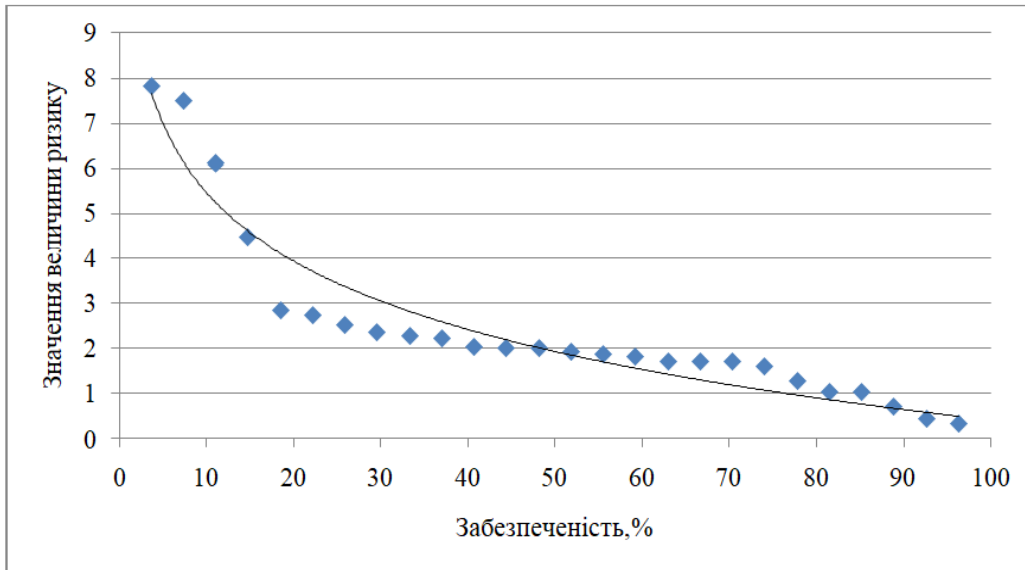


Рис. 2 – Графік емпіричної кривої забезпеченості ризику забруднення біогенними речовинами для річки Лопань
Fig. 2 – The graph of the empirical supply curve of the risk of pollution by biogenic substances for the Lopan River

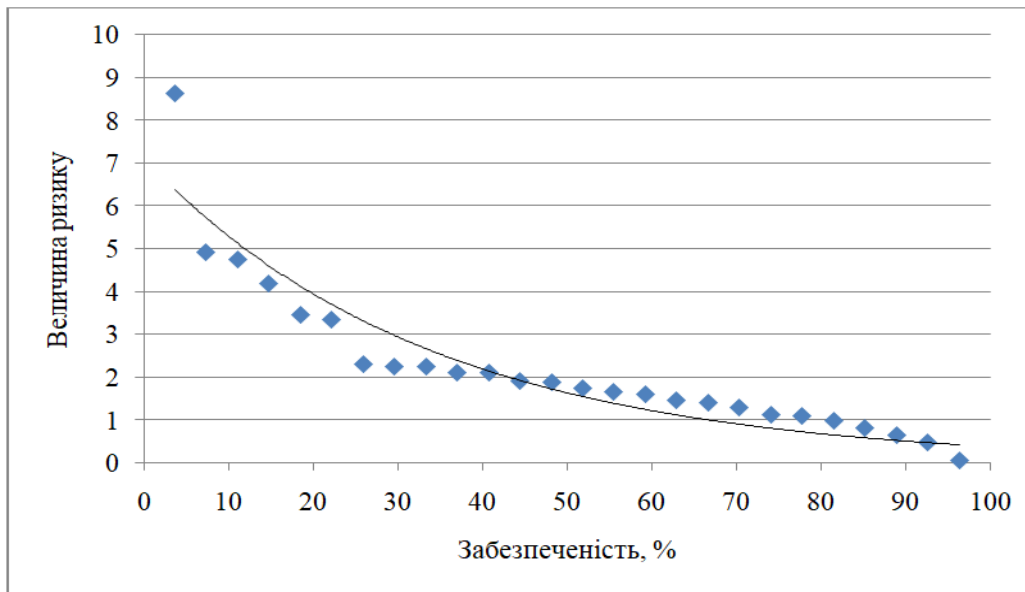


Рис. 3 – Графік емпіричної кривої забезпеченості ризику забруднення важкими металами для річки Лопань
Fig. 3 – The graph of the empirical supply curve of the risk of pollution by heavy metals for the Lopan River

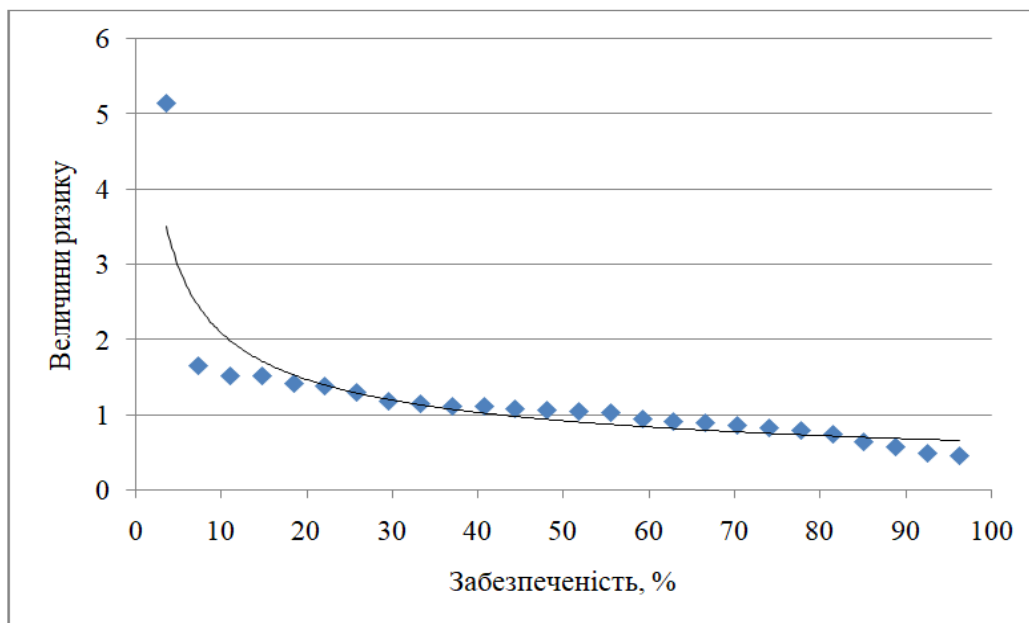


Рис. 4 – Графік емпіричної кривої забезпеченості ризику забруднення біогенними речовинами для річки Харків
Fig. 4 – The graph of the empirical supply curve of the risk of pollution by biogenic substances for the Kharkiv River

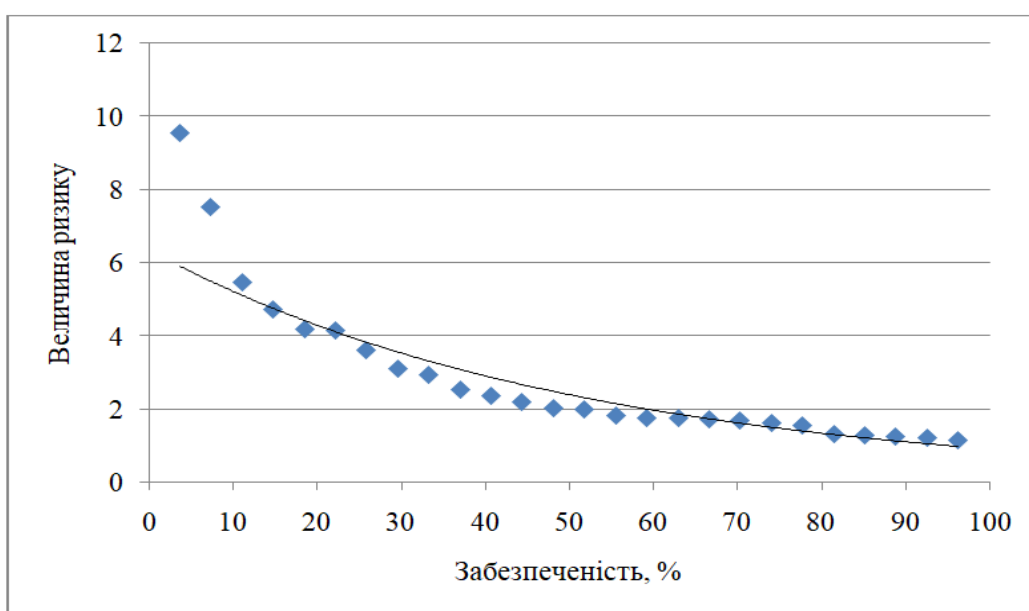


Рис. 5 – Графік емпіричної кривої забезпеченості ризику забруднення важкими металами для річки Харків
Fig. 5 – The graph of the empirical supply curve of the risk of pollution by heavy metals for the Kharkiv River

Таблиця 3 – Якісна та кількісна шкала екологічних ризиків забруднення для річки Лопань (за біогенними елементами)
Table 3 – Qualitative and quantitative scale of environmental pollution risks for the Lopan River (by biogenic elements)

Клас якості води	Характеристика класу	ІЗВ	Ризик	Діапазон забезпеченостей	Емпірична ймовірність попадання у діапазон, %	Зона ризику	Екологічна ситуація	Ймовірність рівня збитку	Якісна характеристика рівня збитку
I	Дуже чиста	≤ 0,30	≤0,351	≤94	3,85	Зона відсутності ризику	Сприятлива	0-0,10	Надзвичайно низький
II	Чиста	0,31 – 1,00	0,352-0,472	93,9-89,3	3,85	Зона відсутності ризику	Сприятлива	0,10-0,25	Дуже низький
III	Помірно забруднена	1,01 – 2,50	0,473-0,894	89,2-75,0	3,85	Зона прийнятного ризику	Задовільна	0,25-0,40	Низький
IV	Забруднена	2,51 – 4,00	0,895-1,68	74,9-53,9	15,4	Зона допустимого ризику	Напружена	0,40-0,60	Середній
V	Брудна	4,01 – 6,00	1,69-3,94	53,8-21,2	57,7	Зона критичного ризику	Критична	0,60-0,75	Високий
VI	Дуже брудна	6,01 – 10,0	3,95-21,5	21,1-0,02	15,4	Зона катастрофічного ризику	Катастрофічна	0,75-0,90	Дуже високий
VII	Надзвичайно брудна	> 10,0	>21,5	0,02	0	Зона незворотної втрати якості об'єкта	Поза межно катастрофічна	0,90-1,00	Надзвичайно високий

Таблиця 4 - Якісна та кількісна шкала екологічних ризиків забруднення для річки Лопань (за важкими металами)
Table 4 – Qualitative and quantitative scale of environmental risks of pollution for the Lopan River (by heavy metals)

Клас якості води	Характеристика класу	ІЗВ	Ризик	Діапазон забезпеченостей	Емпірична ймовірність попадання у діапазон, %	Зона ризику	Екологічна ситуація	Ймовірність рівня збитку	Якісна характеристика рівня збитку
I	Дуже чиста	≤ 0,30	≤0,505	≤85,7	7,69	Зона відсутності ризику	Сприятлива	0-0,1	Надзвичайно низький
II	Чиста	0,31 – 1,00	0,506-0,67	85,6-79,4	3,85	Зона відсутності ризику	Сприятлива	0,1-0,25	Дуже низький
III	Помірно забруднена	1,01 – 2,50	0,68-1,24	79,3-61,3	15,4	Зона прийнятного ризику	Задовільна	0,25-0,40	Низький
IV	Забруднена	2,51 – 4,00	1,25-2,3	61,2-38	46,2	Зона допустимого ризику	Напружена	0,40-0,60	Середній
V	Брудна	4,01 – 6,00	2,31-5,23	37,9-10,1	23,1	Зона критичного ризику	Критична	0,60-0,75	Високий
VI	Дуже брудна	6,01 – 10,0	5,24-26,9	10-0,00056	3,84	Зона катастрофічного ризику	Катастрофічна	0,75-0,9	Дуже високий
VII	Надзвичайно брудна	> 10,0	>26,9	>0,00056	0	Зона незворотної втрати якості об'єкта	Поза межно катастрофічна	0,9-1	Надзвичайно високий

Таблиця 5 – Якісна та кількісна шкала екологічних ризиків забруднення для річки Харків (за біогенними елементами)
Table 5 – Qualitative and quantitative scale of environmental risks of pollution for the Kharkiv River (by biogenic elements)

Клас якості води	Характеристика класу	ІЗВ	Ризик	Діапазон забезпеченостей	Емпірична ймовірність попадання у діапазон, %	Зона ризику	Екологічна ситуація	Ймовірність рівня збитку	Якісна характеристика рівня збитку
I	Дуже чиста	≤ 0,30	≤ 0,65	≤ 84,8	15,4	Зона відсутності ризику	Сприятлива	0-0,10	Надзвичайно низький
II	Чиста	0,31 – 1,00	0,651-0,89	84,7-49,8	15,4	Зона відсутності ризику	Сприятлива	0,1-0,25	Дуже низький
III	Помірно забруднена	1,01 – 2,50	0,9-1,79	49,7-15,9	65,4	Зона прийняттого ризику	Задовільна	0,25-0,40	Низький
IV	Забруднена	2,51 – 4,00	1,8-3,58	15,8-5,1	3,85	Зона допустимого ризику	Напружена	0,40-0,60	Середній
V	Брудна	4,01 – 6,00	3,59-9	5-1,11	0	Зона критичного ризику	Критична	0,60-0,75	Високий
VI	Дуже брудна	6,01 – 10,0	9,1-57,24	1,1-0,05	0	Зона катастрофічного ризику	Критична	0,75-0,9	Дуже високий
VII	Надзвичайно брудна	> 10,0	57,24	0,05	0	Зона незворотної втрати якості об'єкта	Катастрофічна	0,9-1	Надзвичайно високий

Таблиця 6 – Якісна та кількісна шкала екологічних ризиків забруднення для річки Харків (за важкими металами)
Table 6 – Qualitative and quantitative scale of environmental pollution risks for the Kharkiv River (by heavy metals)

Клас якості води	Характеристика класу	ІЗВ	Ризик	Діапазон забезпеченостей	Емпірична ймовірність попадання у діапазон, %	Зона ризику	Екологічна ситуація	Ймовірність рівня збитку	Якісна характеристика рівня збитку
I	Дуже чиста	≤ 0,30	≤ 1,02	≤ 81,5	0	Зона відсутності ризику	Сприятлива	0-0,1	Надзвичайно низький
II	Чиста	0,31 – 1,00	1,021-1,28	81,1-73,2	15,4	Зона відсутності ризику	Сприятлива	0,1-0,25	Дуже низький
III	Помірно забруднена	1,01 – 2,50	1,29-2,09	73,1-52,9	38,5	Зона прийняттого ризику	Задовільна	0,25-0,40	Низький
IV	Забруднена	2,51 – 4,00	2,10-3,42	52,8-31,1	19,2	Зона допустимого ризику	Напружена	0,40-0,60	Середній
V	Брудна	4,01 – 6,00	3,43-6,59	31,0-8,8	19,2	Зона критичного ризику	Критична	0,60-0,75	Високий
VI	Дуже брудна	6,01 – 10,0	6,6-24,34	8,7-0,007	7,69	Зона катастрофічного ризику	Катастрофічна	0,75-0,9	Дуже високий
VII	Надзвичайно брудна	> 10,0	> 24,34	> 0,007	0	Зона незворотної втрати якості об'єкта	Поза межно катастрофічна	0,9-1	Надзвичайно високий

6. ОБГОВОРЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ

Визначення екологічних ситуацій, які утворюються в результаті забруднення поверхневих вод було виконано наступним чином. Прийнято, що «сприятлива» екологічна ситуація спостерігається тоді, коли складові природних ресурсів практично не підлягають антропогенному впливу. Наприклад, така ситуація утворюється за умов наявності класів якості води «дуже чиста» і «чиста», яким відповідає «надзвичайно низький» та «дуже низький» рівні збитку та зона відсутності ризику. «Задовільна» екологічна ситуація характеризується незначними порушеннями екосистем, які в результаті проведення природоохоронних заходів можна усунути. Отже, водна екосистема буде зберігати свою стійкість. «Задовільній» стан екологічної ситуації може бути прийнятий як такий, що відповідає стан води класу III, «помірно забруднені» з «низьким» рівнем ризику. Підчас «напруженої» екологічної ситуації спостерігається суттєве забруднення води, яке призводить до погіршення умов проживання живих організмів, включаючи населення. «Напруженим» ситуаціям при розгляді якості води може відповідати такий стан вод, коли вони відносяться до класу IV, вода «забруднена» з «середнім» рівнем можливого збитку. Завдяки природоохоронним заходам напруженість ситуації може спадати, але не може виправитися повністю. «Критичні» ситуації виникають тоді, коли зростає загроза виснаження компонент природних ресурсів, через те, що антропогенні навантаження суттєво перевищують допустимі норми. Таким випадкам відповідає вода класів якості «брудна» та «дуже брудна» з «високим» та «дуже високим» рівнем збитку. «Катастрофічні» ситуації викликаються багаторазовим перевищенням нормативів антропогенного навантаження. У цьому випадку природні екосистеми руйнуються, що супроводжується різким погіршенням здоров'я людей, втратою унікальних природних об'єктів та генофонду біоти. Прийнято, що «катастрофічні» ситуації можуть спостерігатися, коли класи якості води відносяться до VII «надзвичайно брудна», рівень забруднення «надзвичайно високий».

Установлені за емпіричними кривими забезпеченостей ймовірності попадання показників ризиків у кожен із класів шкали

екологічних ризиків дозволило виявити найбільш вірогідні екологічні ситуації для річок Харків та Лопань. Виявлено, що на річці Лопань у разі забруднення біогенними речовинами (табл. 3) найбільш ймовірним (57,7%) є формування «критичної» екологічної ситуації з високим рівнем збитків. При розгляді забруднення річки Лопань важкими металами найбільш ймовірною (42,6%) є «напружена» екологічна ситуація з середнім рівнем збитку та утворенням зони допустимого ризику (табл. 4).

На річці Харків ймовірність створення «критичної» екологічної ситуації за рахунок біогенних речовин (табл. 5) наближається до 0. Виявлено, що найбільш ймовірним (65,4%) є формування «задовільної» екологічної ситуації з низьким рівнем збитку у зоні «прийнятної» екологічного ризику.

Під час розгляду забруднення важкими металами (табл. 6) установлено, що ймовірність формування критичної екологічної ситуації становить 19,2%, а зони напруженої ситуації також 19,2%, а зони задовільної екологічної ситуації – 38,5%. Критична екологічна ситуація за рахунок надходження у воду річки Харків була характерною для 90-тих років минулого сторіччя. Наприклад, у 1992 рік для річки Харків за значенням ризику забруднення важкими металами спостерігалася катастрофічна ситуація. За значенням показника ризику забруднення біогенними речовинами – сприятлива екологічна ситуація

ВИСНОВКИ

1. За даними спостережень установлено, що річки міста Харків (Лопань та Харків) підлягають як забрудненню важкими металами (в результаті розвитку промисловості ще з 19 сторіччя), так і забрудненню стічними водами комунально-побутових підприємств. За матеріалами про об'єми скидів виявлено, що річка Лопань у більшій мірі ніж річка Харків підпадає під дію біогенних речовин, які знаходяться у стічних водах внаслідок функціонування міської очисної споруди №1 (КБО «Диканьківський»). Об'єм стічних вод з очисних споруд на річці Лопань перевищує середній багаторічний об'єм річного стоку майже у 2 рази.

2. З метою роздільного визначення екологічного ризику забруднення важкими

металами та біогенними речовинами було запропоновано розраховувати модифіковані індекси забруднення води (ІЗВ) окремо для важких металів (розчинений кисень, БСК5, цинк, мідь, залізо, марганець) та біогенних речовин (розчинений кисень, БСК5, азот нітратний, азот нітритний, азот амонійний, фосфор загальний).

3. В результаті виконання розрахунків показників ризику забруднення важкими металами та біогенними речовинами було виявлено тісний зв'язок між цими показниками та відповідними модифікованими індексами забруднення води, що дозволило узгодити семантичну градацію шкал якості водного середовища та шкал ризиків та відобразити різні екологічні ситуації зміни якості водного середовища у зв'язку з формуванням ризикових подій.

4. Для практичного використання достатньо на основі даних спостережень визначити модифікований індекс забруднення важкими металами або біогенними речовинами та за шкалою ризиків установити зону ризику та відповідну екологічну ситуацію.

5. Запропоновані підходи рекомендуються до використання під час визначення екологічних ризиків забруднення річок у межах індустріально розвинутих територій різних країн.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

- Directive 20 00/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2000 establishing a frame work for Community action in the field of water policy. *Official Journal EU*. L 327. 22/12/2000. Pp. 0001-0073
- Водна Рамкова Директива ЄС 2000/60/ЄС. Основні терміни та їх визначення: Вид. офіційне. Київ: Твій формат, 2006. 240 с.
- Сіверський Донець: водний та екологічний атлас / Васенко О. Г., Гриценко А. В., Карабаш Г. О., Станкевич П. П. та ін.; за ред. А. В. Гриценка, О. Г. Васенка. Харків: ВД «Райдер», 2006. 188 с.
- Сучасний екологічний стан української частини річки Сіверський Донець (експедиційні дослідження) / Гриценко А. В., Васенко О. Г. та ін.; за ред. д-ра геогр. наук, проф. А. В. Гриценка; канд. біол. наук, доц. О. Г. Васенка. Харків: ВПП «Контраст», 2011. 340 с.
- Жук В. М. Особливості водогосподарських систем Харківської області. *Проблеми охорони навколишнього природного середовища та техногенної безпеки: зб. наук. пр. УкрНДІЕП*. 2014. Вип. XXXVI. С. 152-164.
- Оцінка емісії біогенних елементів та органічних речовин у поверхневій воді басейну річки Сіверський Донець від дифузних джерел / Осадча Н. М., Ухань О. О., Чехній В. М., Голубцов О. Г. *Проблеми гідрології, гідрохімії, гідроекології* / за ред. чл.-кор. НАН України В. І. Осадчого та ін. Київ: Ніка-центр, 2019. С. 192–199.
- Антропогенний вплив на водні об'єкти та шляхи інтегрованого управління ними. Звіт про НДР. ДР № 0118U001220 / наук. керів. Н.С. Лобода; Одеський державний екологічний університет. Одеса, 2022. 261 с. <http://eprints.library.odku.edu.ua/id/eprint/11117>
- Хільчевський В. К., Осадчий В. І., Курило С. М. *Регіональна гідрохімія України*. Київ: ВПЦ "Київський університет", 2019. 343с.
- Жук В. М. Удосконалення моніторингу водогосподарських систем з урахуванням природного та антропогенного впливу (на прикладі р. Уди): Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 21.06.01 «Екологічна безпека». Харків, 2021. URL: http://Dissertation_Zhuk_2021.pdf (niiep.kharkov.ua)
- Федіна Н. О., Лобода Н. С. Оцінка змін якості води річок Харків та Лопань під дією антропогенного навантаження на початку 21 сторіччя. *XXI наукова конференція молодих вчених Одеського державного екологічного університету*: тези доповідей, 23-31 травня 2022. Одеса, 2022. С. 68-73.
- Вікіпедія*. URL: <https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%A0%D0%B8%D0%B7%D0%B8%D0%BA>
- Рибалова О. В., Белан С. В. Екологічний ризик погіршення стану ґрунтів і земельних ресурсів України. *Екологія и промисленность*. 2013. № 3. С. 15 – 22. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/ekolprom_2013_3_5. (дата звернення 05.01.2023)
- Serbov M., Hryb O., Pylypiuk V. (2021). Assessment of the ecological risk of pollution of soil and bottom sediments in the Ukrainian Danube region. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*. 2021. 2. Pp. 137–144.
- Ingershal G. Ravindranath, Venugopal Thirukumar. Spatial mapping for Groundwater Vulnerability to Pollution Risk Assessment Using DRASTIC Model in Ponnaiyar River Basin, South India. *Journ. Geol. Geograph. Geology*. 2021. 30(2). Pp. 355–364.
- Shurda K. E. Basic risk assessment methods. *Annali d'Italia*. 2020. Vol.2. Pp. 51 – 53. <http://repository.vsau.org/getfile.php/26781.pdf>
- Шурда К. Е. Методи якісного та кількісного аналізу ризиків. *Збалансоване природокористування*. 2020. Вип. 4. С. 64 – 72. doi: 10.33730/2310-4678.4.2020.
- Evaluating the eutrophication risk of an artificial tidal lagoon / Margaret Kadiri, Holly Zhang, Athanasios Angeloudis, Matthew D. Piggott. *Ocean & Coastal Management*. 2021. 203. 105490.
- Юрасов С. М., Сафранов Т. А., Чугай А. В. Оцінка якості природних вод: навчальний посібник. Одеса: Екологія, 2012. 168 с.
- Spatial-temporal dynamics, ecological risk assessment, source identification and interactions with internal nutrients release of heavy metals in surface sediments from a large Chinese shallow lake / Ke Rao, Tao Tang, Xiang Zhang et al. *Chemosphere*. 2021. 282. 131041, 1-9.
- Muller G., Index of geoaccumulation in sediments of the rhine river. *Geojournal*. 1969. 2. Pp. 108–118.
- Оцінка ризиків для здоров'я людини та навколишнього середовища від джерел забруднення ґрунту та вод. Звіт "Інвентаризація, оцінка та зменшення впливу антропогенних джерел забруднення в Нижньодунайському регіоні України, Румунії,

- республіки Молдова, 2007-2013” (MIS ETC CODE 995) / під ред. Б.В. Буркинський, О.С. Рубель; НАН України, Інститут проблем ринку та еколого-економічних досліджень. Одеса, 2016. 84 с.
22. Loboda N., Daus M. Development of a method of assessment of ecological risk of surface water pollution by nitrogen compounds. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2021. Vol.5. №10 (113): Ecology, Pp. 15-25. ISSN 1729-3774.
 23. Методика виділення зон, вразливих до забруднення поверхневих і підземних вод нітратними сполуками / Осадча Н. М. та ін. *Український географічний журнал*. 2017. № 4 (112). С. 38–48.
 24. Лобода Н. С., Кулачок К. В. Методичні підходи до оцінки екологічних ризиків на базі використання комплексних показників якості води. *VII-й Всеукраїнський з'їзд екологів з міжнародною участю: збірник наукових праць 25-27 вересня (Екологія/Ecology -2019)*. Україна. Вінниця, 2019. С.75.
 25. Федіна Н. О., Лобода Н. С. Оцінка екологічних ризиків критичного та катастрофічного забруднення поверхневих вод річки Лопань біогенними речовинами. *Регіональні проблеми охорони довкілля та збалансованого природокористування: матеріали Міжнародної наукової конференції за участю молодих науковців*. Одеса: ОДЕКУ, 2022. С. 145- 148.
 26. Robert B. Asd. Basic Probablity theory. Mineola, NewYork, 1970, 350 p.
 27. Finney D. Probit analysis: a statistical treatment of the sigmoid response curve. Cambridge University Press, Cambridge, 1952, 256p.
 28. Худякова М. В., Лобода Н. С. Оцінка ступеня забруднення річки Уди під впливом скидних вод міста Харків на початку XXI сторіччя. *XXI наукова конференція молодих вчених Одеського державного екологічного університету: тези доповідей*, 23-31 травня 2022. Одеса, 2022. С. 64-68.
 29. Методичні рекомендації щодо оцінки ймовірності ризикових подій внаслідок забруднення водних об'єктів та ґрунтів української частини Нижньодунайського регіону. Одеса: ФОП Шилів М.В., 2016.
 30. Вентцель Е. С. Теория вероятностей. Москва: Высшая школа, 1999.
 31. Кулачок К. В., Лобода Н. С. Критерії ризику в гідроecології (на прикладі гідрохімічних даних річки Дністер - смт.Біляївка). *Матеріалами студентської наукової конференції молодих вчених ОДЕКУ* : тези доповідей, 06-10 травня. Одеса: ТЕС, 2017. С. 113-115.
 32. Кулачок К. В., Лобода Н. С. Якісне і кількісне оцінювання екологічних ризиків загального та нітратного забруднення річки Ягорлик (с.Артирівка). *Матеріали міжнародної наукової конференції молодих вчених*. Одеса: ОДЕКУ, 2020. С.85-87
 33. Сніжко С. І. Оцінка та прогнозування якості природних вод. Київ: Ніка-Центр, 2001. 264с.
 34. Хільчевський В. К. Гідрохімічний словник. Київ: ДІА, 2022. 208 с.
 - Journal EU*, L 327, 22/12/2000, pp. 0001-0073
 2. *Vodna Ramkova Dyrektyva YeS 2000/60/IeS*. (2006). *Osnovni termini ta yikh vyznachenniaiu [EU Water Framework Directive 2000/60/EC. Basic terms and their definitions]*. (in Ukr).
 3. Vasenko, O.H. et al. (2006) *Siverskyi Donets: vodnyi ta ekolohichniy atlas [Siversky Donets: water and ecological atlas]*. Edited by A. V. Hrytsenko, O. H. Vasenko. Kharkiv: Ryder Publishing House (in Ukr).
 4. Hrytsenko, A.V. & Vasenko, O.H. (2011). *Suchasnyi ekolohichniy stan ukrainskoi chastyny richky Siverskyi Donets (ekspedytsiini doslidzhennia) [Modern ecological state of the Ukrainian part of the Siverskyi Donets river (expeditionary studies)]*. Edited by A.V.Hrytsenko; O.H.Vasenko. Kharkiv: VPP «Kontrast». (in Ukr).
 5. Zhuk, V.M. (2014). Osoblyvosti vodohospodars'kykh system Kharkivs'koi oblasti [Problems of water supply systems of the Kharkiv region]. *Problemy okhorony navkolyshnioho pryrodnoho seredovyscha ta tekhnohennoi bezpeky [Problems of protection of the surrounding natural environment and man-made safety]*, XXXVI, pp. 152-164. (in Ukr).
 6. Osadcha, N.M., Ukhan, O.O., Chekhnii, V.M., Holubtsov, O.H. (2019). Otsinka emisii biogenykh elementiv ta orhanichnykh rechovyn u poverkhnevi vody baseinu richky Siverskyi Donets vid dyfuznykh dzhерel [Assessment of the emission of biogenic elements and organic substances into the surface waters of the Siverskyi Donets river basin from diffuse sources]. In: V.I. Osadchyi and others (eds). *Problemy hidrolohii, hidrokhimii, hidroekolohii [Problems of hydrology, hydrochemistry, hydroecology]*. Kyiv: Nika-tsentr, pp. 192–199. (in Ukr).
 7. Loboda, N.S. (scient. chief). (2022). *Antropohennyi vplyv na vodni obiekty ta shliakhy intehrovanooho upravlinnia nymy. Zvit pro NDR. DR № 0118U001220. [Anthropogenic impact on water bodies and ways to integrate them: Research report. RS 0118U001220]*. Odesa State Environmental University. Odesa. (in Ukr).
 8. Khilchevskiy, V.K., Osadchyi, V.I. & Kurylo, S.M. (2019). *Rehional'na hidrokhiimiya Ukrainy [Regional hydrochemistry of Ukraine]*. Kyiv: "Kyiv University". (in Ukr)
 9. Zhuk, V.M. (2021) *Udoskonalennia monitorynhu vodohospodars'kykh system z urakhuvanniam pryrodnoho ta antropohennooho vplyvu (na prykladi r. Udy) [Upgrading the monitoring of hydroeconomic systems taking into consideration natural and anthropogenic effects]*. Ph.D. Thesis. Research institution "Ukrainian Research Institute of Environmental Problems". (in Ukr). Available at: http://Dissertation_Zhuk_2021.pdf (niiep.kharkov.ua)
 10. Fedina, N.O. & Loboda, N.S. (2022). [Assessment of water quality changes of Kharkiv and Lopan rivers under the influence of anthropogenic load at the beginning of the 21st century]. *Tezy dopovidei XXI naukovoї konferentsii molodykh vchenykh Odeskoho derzhavnoho ekolohichnoho universytetu [Scientific Conference of Young Scientists of Odessa State Ecological University]*, 23-31 may. Odesa, pp. 68-73. (in Ukr).
 11. <https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%A0%D0%B8%D0%B7%D0%B8%D0%BA> (in Ukr).
 12. Rybalova, O.V. & Bielan, S.V. (2013). Ekolohichniy ryzyk pohirshennia stanu ґрунтів i zemelnykh resursiv Ukrainy [Ecological risk of deterioration of soils and land resources of Ukraine]. *Ekolohiia s promyshlennost [Ecology and industry]*, 3, pp. 15 – 22. (in Ukr).

REFERENCES

1. Directive 20 00/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2000 establishing a framework for Community action in the field of water policy. *Official*

13. Serbov, M., Hryb, O. & Pylypiuk, V. (2021). Assessment of the ecological risk of pollution of soil and bottom sediments in the Ukrainian Danube region. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, 2, pp. 137–144.
14. Ingershal, G. Ravindranath, Venugopal Thirukumarar (2021). Spatial mapping for Groundwater Vulnerability to Pollution Risk Assessment Using DRASTIC Model in Ponnaiyar River Basin, South India. *Journ. Geol. Geograph. Geology*, 30(2), pp. 355–364.
15. Shurda, K.E. (2020). Basic risk assessment methods. *Annali d'Italia*, 2, pp. 51 – 53. <http://repository.vsau.org/getfile.php/26781.pdf>
16. Shurda, K.E. (2020). [Methods of qualitative and quantitative risk analysis]. *Zbalansovane pryrodokorystuvannia [Balanced nature management]*, 4, pp. 64 – 72. (in Ukr).
17. Margaret Kadiri, Holly Zhang, Athanasios Angeloudis & Matthew D. Piggott (2021). Evaluating the eutrophication risk of an artificial tidal lagoon. *Ocean & Coastal Management*, 203, 105490.
18. Yurasov, S.M., Safranov, T.A. & Chuhai, A.V. (2012). *Otsinka yakosti pryrodnykh vod [Assessment of the quality of natural waters]*. Odesa: Ekology (in Ukr).
19. Ke Rao, Tao Tang, Xiang Zhang et al. (2021). Spatial-temporal dynamics, ecological risk assessment, source identification and interactions with internal nutrients release of heavy metals in surface sediments from a large Chinese shallow lake. *Chemosphere*, 282, 131041, 1-9.
20. Muller, G. (1969). Index of geoaccumulation in sediments of the rhine river. *Geojournal*, 2, pp. 108–118.
21. Burkynskyi, B.V., Rubel, O.Ye. (scient. chief). (2016). *Otsinka ryzykiv dlia zdorovia liudyny ta navkolyshnoho seredovyshcha vid dzhherel zabrudnennia gruntu ta vod. Zvit "Inventoryzatsiia, otsinka ta zmeshennia vplyvu antropohennykh dzhherel zabrudnennia v Nyzhnodunaiskomu rehioni Ukrainy, Rumunii, respubliky Mol-dova, 2007-2013" (MIS ETC CODE 995). [Assessment of risks to human health and the environment from sources of soil and water pollution. Report "Inventory, assessment and reduction of the impact of anthropogenic sources of pollution in the Lower Danube region of Ukraine, Romania, the Republic of Moldova] NAN Ukrainy, Instytut problem rynku ta ekoloho-ekonomichnykh doslidzhen. (in Ukr).*
22. Loboda, N. & Daus, M. (2021) Development of a method of assessment of ecological risk of surface water pollution by nitrogen compounds. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5, №10 (113): Ecology, pp. 15-25.
23. Osadcha, N.M. et.al. (2020). [Methodology for the nitrate vulnerable zones designation in surface and ground water]. *Ukrainskyi heohrafichnyi zhurnal [Ukrainian Geographical Journal]*, 4 (112), pp. 38–48. (in Ukr).
24. Loboda, N.S. & Kulachok, K.V. (2019) [Methodical approaches to the assessment of environmental risks based on the use of complex indicators of water quality] *Zbirnyk naukovykh prats "VII-i Vseukrainskyi z'ezd ekolohiv z mizhnarodnoiu uchastiu (Ekolohiia -2019) [Collection of scientific papers VII All-Ukrainian congress of ecologists with international participation (Ecology -2019)]*. 25-27 september. Vinnytsia, pp. 75. (in Ukr).
25. Fedina, N.O. & Loboda, N.S. (2022). [Assessment of ecological risks of critical and catastrophic pollution of surface waters of the Lopan River by biogenic substances] *Materyaly mizhnarodnoi konferentsii Rehionalni problemy okhorony dovkillia ta zbalansovanoho pryrodokorystuvannia: [Materials of the international conference Regional problems of environmental protection and balanced nature use]*. Odesa, pp. 145- 148. (in Ukr).
26. Robert, B. (1970). *Asd. Basic Probablity theory*. Mineola, New York.
27. Finney, D. (1952). *Probit analysis: a statistical treatment of the sigmoid response curve*. Cambridge University Press, Cambridge.
28. Khudiakova, M.V. & Loboda, N.S. (2022). [Assessment of the degree of pollution of the Uda River under the influence of discharge waters of the city of Kharkiv at the beginning of the 21st century]. *Tezy dopovidei XXI naukovi konferentsii molodykh vchenykh Odeskoho derzhavnoho ekolohichnoho universytetu [Abstracts of reports of the 21st Scientific Conference of Young Scientists of Odessa State Ecological University]*, 23-31 may. Odesa, pp. 64-68. (in Ukr).
29. *Metodychni rekomendatsii shchodo otsinky ymovirnosti ryzykovykh podii vnaslidok zabrudnennia vodnykh ob'ektiv ta gruntiv ukrainskoi chastyny Nyzhnodunaiskoho rehionu [Methodological recommendations for assessing the probability of risk events due to contamination of water bodies and soils of the Ukrainian part of the Lower Danube region]* (2016). Odesa: FOP Shylov M.V. (in Ukr).
30. Venttsel, E.S. (1999). *Teoriya veroyatnostey. [Probability Theory]*. Moscow: Vysshaya shkola. (in Russ).
31. Kulachok, K.V. & Loboda, N.S. (2019). [Risk criteria in hydroecology (on the example of hydrochemical data of the Dniester River - Bilyaivka settlement)]. *Tezy dopovidey za materialamy student-s'koyi naukoyoi konferentsiyi molodykh vchenykh ODEKU [Theses of reports based on the materials of the student scientific conference of young scientists of ODEKU]*, 06-10 may. Odesa, pp. 113-115. (in Ukr).
32. Kulachok, K.V. & Loboda, N.S. (2020) [Qualitative and quantitative assessment of environmental risks of general and nitrate pollution of the Yagorlyk River (Artyrivka village)]. *Materialy mizhnarodnoi naukovi konferentsii molodykh vchenykh. ODEKU [Materials of the international scientific conference of young scientists of ODEKU]* Odesa, pp. 85-87. (in Ukr).
33. Snizhko, S.I. (2001). *Otsinka ta prohozuvannya yakosti pryrodnykh vod. [Assessment and forecasting of natural water quality]*. Kyiv: Nika-Centr Publ. (in Ukr.)
34. Khilchevskyi, V.K. (2022) *Hidrokhimichnyi slovnyk [Hydrochemical dictionary]*. Kyiv: DIA (in Ukr).

DEVELOPMENT OF A METHODOLOGICAL APPROACH FOR DETERMINATION OF ENVIRONMENTAL RISKS OF WATER BODIES POLLUTION ACROSS INDUSTRIALLY DEVELOPED TERRITORIES (AS EXEMPLIFIED BY THE RIVERS OF CITY OF KHARKIV)

N. S. Loboda, N. D. Otchenash, N. O. Fedina

*Odessa State Environmental University,
15, Lvivska St., 65016 Odesa, Ukraine
natalie.loboda@gmail.com
<http://orcid.org/0000-0002-0794-9951>*

The study's relevance consists in the need to determine the prospects for achieving a good environmental condition of Ukrainian water bodies in accordance with the Water Framework Directive of the European Union on establishing the framework of the Community's activities in the field of water policies. The question on ability to achieve the set goals is related to assessment of the environmental risks of surface water pollution by chemical substances. The purpose of the research is to develop new approaches to identification of the risks of surface rivers' water pollution across industrially developed territories. The study was carried out using the data of hydrochemical observations of the Lopan and the Kharkiv rivers. The rivers are located inside City of Kharkiv and exposed to pollution both by industrial discharges and municipal wastes. The work is based on application of a probabilistic approach aimed at determining quantitative indicators of the environmental risks using statistical distribution of such indicators. The scientific novelty consists in offering a method to determine modified water pollution indices and pollution risk indicators specifically for biogenic substances and heavy metals. This allows evaluating the prospects of ensuring a good environmental condition despite surface water pollution from various sources. The research results in presenting a method of building a scale for qualitative and quantitative assessment of environmental risks and their consequences. It relies upon semantical match of the gradations of aquatic environment quality indicators and chemical contamination risk indicators. The study that covers the Kharkiv and the Lopan rivers showed a close relationship between environmental risk indicators and water pollution indices. The revealed dependencies made it possible to harmonize the semantic gradation of aquatic environment quality scales and risk scales. Practical application of the developed methodology implies only calculation of the modified index of pollution by heavy metals or biogenic substances based on the observation data and establishing a possible risk zone and a corresponding environmental situation according to the environmental risk scale. The proposed approaches are recommended for use when determining environmental pollution risks across industrially developed territories of different countries.

Key words: environmental risk; modified water pollution index; scale of qualitative and quantitative assessment of risk levels; environmental risk zone; environmental situation; rivers of City of Kharkiv.

*Подання до редакції : 24. 02. 2023
Надходження остаточної версії : 29. 03. 2023
Публікація статті : 29. 06. 2023*