

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ ТА
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ**
Факультет захисту рослин, біотехнології та екології

ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ

Завідувач кафедри екології
агросфери та екологічного контролю

_____ **Олена НАУМОВСЬКА**

« ___ » _____ 20__ р.

БАКАЛАВРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
на тему **Екологічна оцінка якості води української частини р.**

Дунай

Спеціальність – 101 “Екологія”

Гарант освітньої програми

Докт. педагог. наук, професор
(науковий ступінь та вчене звання)

_____ (підпис)

Володимир БОГОЛЮБОВ
(ПІБ)

Керівник бакалаврської кваліфікаційної роботи

Канд.с.-г.наук,
доцент кафедри екології агросфери
та екологічного контролю
(науковий ступінь та вчене звання)

_____ (підпис)

Марина ЛАДИКА
(ПІБ)

Виконала

_____ (підпис)

_____ **Поліна КАЛАЧ**
(ПІБ студента)

Київ – 2025

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ І
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ**
Факультет захисту рослин, біотехнологій та екології

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри екології агросфери
та екологічного контролю, канд. с.-г.
наук, доцент

_____ Олена НАУМОВСЬКА

«___» _____ 2025 р.

ЗАВДАННЯ

на виконання бакалаврської кваліфікаційної роботи

Спеціальність 101 «Екологія»

Тема бакалаврської кваліфікаційної роботи «Екологічна оцінка якості
води української частини р. Дунай»,

затверджена наказом ректора НУБІП України від «29» жовтня 2024 року
№1939 «С»

Термін подання завершеної роботи на кафедру 2025.05.25

Вихідні дані до бакалаврської кваліфікаційної роботи

Перелік питань, які потрібно розробити:

1. Здійснити аналіз літературних джерел щодо сучасного стану річки
Дунай та основних джерел його забруднення;
2. Виявити основні джерела впливу на формування якості води річки;
3. Сформувати базу даних показників якості води гирлової частини
Дунаю в межах території України;
4. Проаналізувати просторові і часові зміни екологічного стану якості
води річки Дунай.

Дата видачі завдання «30» жовтня 2024 р.

**Керівник бакалаврської
кваліфікаційної роботи**

Завдання прийняла до виконання

_____ **Марина ЛАДИКА**

_____ **Поліна КАЛАЧ**

РЕФЕРАТ

Бакалаврську кваліфікаційну виконано на 74 сторінках, містить таблиць 7, рисунків 4 та 54 джерела використаної літератури.

Мета дослідження: комплексна екологічна оцінка якості поверхневих вод річки Дунай в межах її української частини на стратегічно важливих ділянках - м. Рені, с. Ліски, м. Ізмаїл, м. Кілія та м. Вилкове, з особливим акцентом на гідроекологічні умови Кілійського та Кислицького рукавів, що є критичними для дельтової динаміки.

Для досягнення поставленої мети вирішувалися наступні **завдання:**

- З'ясувати сучасний стан річки Дунай та основні джерела її забруднення через ознайомлення з науковою та довідковою літературою;
- Виявити, які основні джерела впливають на якість води у р. Дунай;
- Сформувати базу даних щодо показників якості води української частини Дунаю;
- Здійснити ретроспективний аналіз екологічного стану р. Дунай в межах України.

Об'єкт дослідження: просторово-часові зміни якості поверхневих вод української частини річки Дунай.

Предмет дослідження: фізичні, фізико-хімічні та хімічні показники якості води р. Дунай. Тут увагу приділено виявленню тенденції зміни цих показників по пунктах та визначення потенційних джерел забруднення.

Просторово-часовий аналіз екологічної оцінки якості води в р. Дунай на українській ділянці за два обрані періоди – 2010-2014 та 2021-2023 рр. – свідчить про відносну стабільність водного середовища за середніми значення інтегрально індексу (I_{cp}). Слід вказати, що переліки пунктів спостереження у вказані періоди частково відрізняють внаслідок зміни мережі системи моніторингу поверхневих вод (до другого періоду додалися – с. Ліски та Кислицький рукав, замість м. Рені та м. Вилкове). Частина пунктів зберіглася, до таких належать Кілійське гирло, м. Ізмаїл та м. Кілія. У всі роки, включені

до аналізу, за середніми значеннями вода відповідала II класу якості – переважно 2-3 категоріям, що відповідає характеристиці «дуже добрі», «чисті», «добрі», «досить чисті» води. Найкращі показники були зафіксовані у м. Кілія ($I_{cp} = 2,33$), м. Вилкове ($I_{cp} = 2,60$) та м. Рені ($I_{cp} = 2,67$) у першому періоді. На період 2021-2023 рр. середні значення індексу якості вод залишалися в межах тих самих категорій ($I_{cp} = 2,45-2,69$), де найвища якість зафіксовано в районах с. Ліски та Кислицького рукава.

За найгіршими значеннями, у 2010-2014 роках на всіх пунктах (м. Рені, Кілійське гирло, м. Ізмаїл, м. Кілія, м. Вилкове) якість води відповідала III класу – 4 категорії, що характеризується як «задовільні», «слабко забруднені» води ($I_{cp} = 3,70-4,19$). У м. Ізмаїл спостерігалася перехідна якість на межі між 3 і 4 категоріями. У 2021-2023 роках відбулося суттєве покращення, як у спільних пунктах, так і в нових. Значення знизились до рівня II класу, 3 категорії – «добрі», «досить чисті» води. Кращі показники: м. Кілія – 3,09; с. Ліски – 2,99; Кислицький рукав – 3,12. Це підтверджує позитивну динаміку стану водного середовища за найгіршими показниками. Проте слід враховувати, що за другий період оцінювання здійснювалося без урахування I_3 (специфічні речовини токсичної дії), що робить отримані оцінки орієнтовними.

Загалом, з урахуванням вищезазначеного, тенденція до зниження екологічних індексів вказує на зменшення антропогенного навантаження на ділянки української частини Дунаю, особливо, які його найбільше зазнають (м. Ізмаїл, м. Рені, м. Вилкове, м. Кілія та Кілійське гирло).

КЛЮЧОВІ СЛОВА: моніторинг, екологічний стан, якість води, українська частина р. Дунай, просторово-часовий аналіз.

ЗМІСТ

ВСТУП	8
РОЗДІЛ 1. ЕКОЛОГІЧНІ ПРОБЛЕМИ РІЧКИ ДУНАЙ (огляд літератури)	10
1.1. Особливості річки Дунай та її народногосподарське значення..	10
1.2. Антропічний вплив на екосистему річки Дунай	16
1.3. Програми збереження і відновлення р. Дунай.....	22
РОЗДІЛ 2. ПРОГРАМА, МЕТОДИКА ТА УМОВИ ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	26
2.1. Мета і завдання роботи	26
2.2. Об'єкт і предмет досліджень	26
2.3. Характеристика умов проведення дослідження	28
2.4. Методика комплексної екологічної оцінки якості води	35
РОЗДІЛ 3. ЕКОЛОГІЧНА ОЦІНКА ЯКОСТІ ВОДИ УКРАЇНСЬКОЇ ЧАСТИНИ РІЧКИ ДУНАЙ.....	40
3.1. Формування бази даних	40
3.2 . Оцінка екологічного стану.....	45
ВИСНОВОК.....	66
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	68

ВСТУП

Актуальність дослідження. Річка Дунай є одним із великих і ключових водних шляхів у Європі, що протікає через багато країн і забезпечує водою мільйони людей, а також підтримує різноманітні екосистеми. Через своє глобальне значення якість води Дунаю має великий вплив не лише на місцевість, а й на регіон. Дуже важливо провести екологічну оцінку поверхневих вод в українській частині річки, оскільки саме тут накопичуються відходи з багатьох джерел. В той же час ця територія є важливою для екосистеми Чорного моря: річка кожен рік постачає в нього величезні об'єми води, біогенних речовин, завислих часток і забруднюючих речовин. Евтрофікація північно-західного шельфу моря відбувається через перебільшене надходження азоту й фосфору. Одночасно з тим, зменшення стоку Дунаю спричиняє підвищення солоності в Чорному морі, що в свою чергу, змінює природний баланс екосистеми і сприяє поширенню середземноморських інвазійних видів.

Промислове виробництво, сільськогосподарська діяльність, швидка урбанізація та низька ефективність системи очищення стічних вод – ось антропогенні чинники, що відповідають за якість води в річці Дунай. Саме погіршення екологічного стану водних ресурсів ставить під загрозу біорізноманіття та здоров'я людей у регіоні сталого розвитку. Для ефективного контролю та охорони навколишнього середовища необхідне також визначення рівня забруднення та первинних джерел забруднення.

Крім того, зміна клімату, виражена в характері опадів і температурі, може вплинути на гідрологічний режим річки та якість води, ускладнюючи контроль і управління водними ресурсами. Таким чином, актуальність екологічної оцінки якості поверхневих вод р. Дунай є необхідністю в принципах забезпечення довгострокової стабільності екосистеми, збереження водного балансу та раціонального використання природних ресурсів території.

Екологічний стан якості поверхневих вод річки Дунай є однією з найважливіших частин через стратегічне значення річки як джерела водопостачання для багатьох країн, уздовж яких вона протікає та задовольняє потреби екосистем, промислові та сільськогосподарські потреби. Моніторинг та оцінка стану водних ресурсів української частини Дунаю є дуже важливими, оскільки територія зазнає впливу антропогенних факторів: впливу промислових підприємств, стоків сільського господарства та міського будівництва, а також зміни клімату. Важливим у визначенні ступеня забруднення та тенденцій якості води є також розробка ефективних водоохоронних заходів на тлі сталого розвитку території.

РОЗДІЛ 1. ЕКОЛОГІЧНІ ПРОБЛЕМИ РІЧКИ ДУНАЙ

1.1. Особливості річки Дунай та її народногосподарське значення

Дунай формує унікальну гідрологічну систему, яка функціонує не лише як потужна природна річкова структура, а й як багаторівневий регуляторний механізм, інтегрований у просторову організацію континенту. Його гідрографічна мережа розвивається на тлі тектонічного прогину, що зумовило формування русла з високою пропускною здатністю і стійкою гідродинамікою. Починаючи з Альпійського передгір'я в Німеччині, річка бере початок з двох витоків - Брігах та Брег, які в точці їх злиття утворюють єдину водну систему з чітко вираженим напрямом у бік Чорного моря. Це створює основу для стабільного водного тиску вздовж усієї течії, що охоплює понад 2850 кілометрів. Просторова конфігурація Дунайського басейну формує гідрологічні умови з високим рівнем водообміну, що забезпечує рівновагу між притоками та основним руслом. Через перетин десяти держав, цей водотік стає не просто частиною природного середовища, а міждержавною платформою для управління водними ресурсами, які мають прикладне значення для різноманітних секторів - енергетичного, сільськогосподарського, індустріального та логістичного [11, с. 89].

Дунай функціонує як надрегіональна інфраструктурна вісь, що втягує у свій вплив економічні структури значної частини Центральної і Південно-Східної Європи. Завдяки з'єднанню з Рейном через канал Дунай-Майн, формується єдина навігаційна система, що дозволяє транспортувати вантажі від Північного до Чорного моря без зміни виду транспорту. Така безперервність водного коридору підтримується системою шлюзів, насосних станцій, берегових укріплень та портів, які забезпечують логістичну сталість і дозволяють інтегрувати дунайський водний шлях у загальноєвропейську транспортну архітектуру. У межах Транс'європейської транспортної мережі (TEN-T) Дунай відіграє структуроутворюючу функцію, формуючи базову вісь у вантажних потоках між Середземноморським, Чорноморським і Балтійським

басейнами. Його потенціал повністю використовується у мультимодальних транспортних системах, де водні, автомобільні, залізничні та повітряні коридори об'єднуються в уніфіковану логістичну платформу з високою пропускною спроможністю. Такий тектонічно і логістично сформований ландшафт дозволяє Дунайському регіону виступати регіональним центром концентрації інфраструктурного капіталу з високим рівнем диверсифікації транзитних функцій [22, с. 5].

Водна система річки формує особливий ресурсний баланс, в межах якого формуються три основні вектори використання: енергетика, зрошення та водопостачання. Гідроелектричні потужності, що розташовані вздовж Дунаю, продукують значну частку електроенергії для Австрії, Словаччини, Угорщини, Сербії та Румунії. Ідеться не лише про локальні малі ГЕС, а й про масштабні комплекси типу «Джердап» чи «Габчіково–Нагимарош», які забезпечують регіональну стабільність енергосистем. Застосування потужних турбін із можливістю гнучкого реагування на добові й сезонні коливання навантаження робить дунайські ГЕС придатними до інтеграції в європейську енергомережу ENTSO-E. Крім енергетики, річка виступає водним донором для зрошення агроценозів Нижньодунайських рівнин, де від кліматичних параметрів залежить не тільки інтенсивність сільськогосподарського виробництва, а й загальна життєздатність агропромислового комплексу. Забезпечення стабільного водозабору здійснюється через розгалужену систему каналів і дренажних вузлів, які знижують ризики гідрологічного стресу в посушливі періоди [2, с. 20].

Особливу гео економічну функцію річка виконує в сегменті міграції ресурсів і потоків капіталу. Завдяки гнучкій системі переміщення сировини - зокрема, аграрної, паливної, будівельної - формуються так звані «вузли концентрації переробної промисловості», які виникають у безпосередній близькості до глибоководних портів. Трансформація річкових хабів у поліфункціональні кластери (як-от Відень, Братислава, Будапешт, Белград, Галац) зумовлює формування нових економічних зон зі змішаною

функціональністю - від логістики й торгівлі до інноваційного виробництва. Ці хаби об'єднують потенціал ринку праці, промислових інвестицій і транспортної мобільності в одну операційну структуру, що є характерним для постіндустріального ландшафту великих європейських річок. При цьому, доступ до водних шляхів знижує загальні витрати на транспортну логістику, що вивільняє інвестиційні ресурси для диверсифікації внутрішнього виробництва [30, с. 48].

Гідроморфологічна структура Дунаю також детермінує екологічну рівновагу транскордонних біоценозів. Його заплавні комплекси, плавні й дельтові ділянки забезпечують високу ступінь біорізноманіття. Особливо цінним є Дунайський біосферний заповідник, який функціонує як резервуар генетичних ресурсів водних і наземних видів. Дельта Дунаю, розташована переважно на території Румунії та України, виступає потужним біофільтром, здатним природним шляхом очищати води від азоту, фосфору, пестицидів і важких металів. Біоочисна функція цього регіону має не лише екологічний вимір, а й економічний, адже дозволяє зменшити витрати на штучні системи фільтрації. Крім того, заплавні комплекси акумулюють надлишкові об'єми води під час повеней, функціонуючи як природні гідробуфери, що пом'якшують наслідки паводкових хвиль у нижній течії. Це сприяє формуванню стійкої протипаводкової політики в межах регіональної системи управління ризиками [33, с. 4].

В умовах зміни клімату Дунай дедалі частіше виступає як об'єкт адаптаційної інженерії, в межах якої реалізуються масштабні проєкти з перепрофілювання русла, створення берегових підсилень, реконструкції водно-болотних угідь. Усі ці втручання спрямовані на збереження рівноваги між природною гідрологією і антропогенними потребами. Консорціуми з участю Європейського інвестиційного банку, Дунайської комісії, національних урядів реалізують довгострокові плани розвитку інфраструктури, які враховують як параметри сталого розвитку, так і показники інтеграції у європейську просторову політику. У цьому аспекті

Дунай постає не лише як гідрографічна реальність, а як структурна компонента європейської економіко-екологічної синергії, де переплітаються екосистемна стійкість, економічна гнучкість та інституційна відповідальність.

Умови гідрографічного розмаїття, притаманні різним ділянкам Дунаю, створюють складну модель багаторівневого водного управління. У верхній течії, де переважає високошвидкісний стік і значна енергія потоку, основна увага зосереджена на гідроенергетиці та захисті берегів. У середній частині - це передусім забезпечення транзитної навігації та аграрного водопостачання. Нижня течія - зона з підвищеною гідрологічною чутливістю, де пріоритетами є екосистемне збереження, управління паводками та захист дельти. Такий розподіл функціональностей вимагає координації між національними системами водного менеджменту, що реалізується через спільні платформи обміну даними, інтегровані гідрометеорологічні моделі, електронні системи моніторингу та оцінки. Річка втягує у свою динаміку не лише природні елементи, а й адміністративно-правові механізми, які визначають принципи міждержавної взаємодії в царині водної політики [20, с. 28].

Аграрно-промислове значення басейну Дунаю формувалося як результат довготривалої взаємодії між природними геоморфологічними умовами й антропогенними трансформаціями ландшафту, які надавали регіону специфічної функціональної спеціалізації. Просторово-ресурсна модель басейну охоплює понад 800 тисяч квадратних кілометрів, що формує один із найбільших інтегрованих водозбірних ареалів Європи. У межах цієї площі сконцентровано значну кількість родючих ґрунтів - чорноземів, каштанових, дерново-карбонатних - що створює сприятливе середовище для розвитку зернового, овочевого й технічного землеробства. Ці ґрунтові формації перебувають у безпосередній гідрологічній залежності від водних ресурсів Дунаю, який виступає джерелом іригації, меліорації та захисного водопостачання. Зрошувальні системи, збудовані в межах угорської Пусті, болгарських рівнин та українського Придунав'я, дозволяють утримувати високопродуктивну агротехнічну модель навіть в умовах періодичної

аридизації клімату. Завдяки цьому формується сталий аграрний ландшафт із високою інтенсивністю біологічної продукції, орієнтованої як на внутрішнє споживання, так і на експортно-логістичні потоки [28, с. 6].

Сучасна інфраструктура агропромислових кластерів у басейні Дунаю сконцентрована переважно в середній та нижній течії, де густина населення, наявність водних ресурсів і промислова база утворюють синергічну структуру. У цих регіонах сформовано цілі агропромислові платформи - зокрема, у Південно-Східній Угорщині, Північній Сербії, Олтенсьькому плато Румунії, а також у Південній Одещині. Їхня діяльність базується на циклічному принципі агроекономічного відтворення, що включає вирощування продукції, її переробку, логістичне пакування, транспортування до споживчих центрів, а також експортні операції. У межах цих кластерів активно діє механізм водно-енергетичної підтримки через використання насосних станцій, гідромеліоративних каналів і локальних ГЕС, що дозволяє аграрним підприємствам знижувати залежність від опадового режиму. Такий інженерно-ресурсний супровід створює додаткові умови для розвитку тваринництва, садівництва та тепличного господарства, які вимагають стабільного водного режиму [3, с. 20].

Промисловий сегмент, інтегрований у структуру басейну, також демонструє багаторівневу залежність від гідрологічної системи Дунаю. Основні виробничі потужності - металургійні комбінати, хімічні заводи, деревообробні й харчопереробні підприємства - розташовані в безпосередній близькості до річки. Це зумовлено як доступністю води для технологічного охолодження та промивки, так і вигідною транспортною логістикою. Великим підприємствам потрібна велика кількість технічної води, яка циркулює у замкнених системах, але періодично оновлюється за рахунок річкових водозаборів. Екологічна безпека таких процесів підтримується за рахунок впровадження очищувальних комплексів, які використовують біологічну, фізико-хімічну та мембранну фільтрацію, що зменшує ризик вторинного забруднення водних масивів. Завдяки наявності потужної водної артерії

більшість сировинних і готових ресурсів транспортуються баржами та контейнерними платформами, що мінімізує витрати на логістику й забезпечує доступ до глобальних торговельних ринків через Чорне море.

Взаємозв'язок між аграрним і промисловим використанням водного потенціалу формує модель так званого інтегрованого водного менеджменту, в межах якої зосереджено керування всіма водними процесами - від водозабору до скидання стоків. Така система реалізується через багатofункціональні водогосподарські підприємства, які координують потреби аграрного, промислового й комунального секторів. Вона передбачає балансування водокористування залежно від сезону, потреб та гідрологічного стану. У періоди гідрологічного дефіциту пріоритет надається забезпеченню населення і стратегічних виробництв, тоді як аграрний сектор переходить на крапельне зрошення чи обмежений полив. Усі ці процеси координуються через інформаційно-аналітичні центри, які моніторять рівень води, температуру, бактеріальне навантаження та інші показники в реальному часі, дозволяючи швидко адаптувати розподіл ресурсів [7, с. 36].

Сільськогосподарські зони басейну, які розташовані в понижених терасах і заплавах, відзначаються високим рівнем мікрокліматичної стабільності завдяки впливу річки. Водяна маса виконує функцію терморегулятора, пом'якшуючи різкі температурні коливання, які можуть спричинити стрес для агрокультур. Цей ефект особливо помітний у дельтових і заплавних зонах, де тепловий баланс зберігається стабільним навіть у періоди екстремальних погодних умов. Такий мікроклімат сприяє розвитку агроecosystem із високою біологічною продуктивністю, в яких активно розвиваються не тільки традиційні культури - пшениця, кукурудза, соняшник, - а й нішеві продукти: спаржа, ягоди, лікарські трави. Ці агросистеми підтримуються за рахунок сталого водопостачання, дренажу та біофільтрації, які забезпечують високу якість ґрунтових вод і знижують ризик засолення або заболочення територій.

Інша форма залучення річкової системи до господарського комплексу - це розвиток переробної галузі, орієнтованої на глибоку переробку агропродукції. У містах, розташованих вздовж річки, сформовано потужні переробні заводи, які функціонують як ядра регіональних агропромислових центрів. Завдяки водному шляху продукція швидко транспортується до переробника, проходить технологічний цикл - очищення, сортування, консервування або фасування - та відправляється до кінцевих споживачів або експортується через портову інфраструктуру. У структурі таких підприємств активно функціонують системи повторного водокористування, що включають багаторівневе очищення технічної води з її подальшим поверненням у виробничий цикл. Це забезпечує ресурсну ефективність і екологічну стійкість переробних підприємств, що мають значний водний слід.

1.2. Антропогенний вплив на екосистему річки Дунай

Антропогенне навантаження на екосистему Дунаю репрезентує собою багатокомпонентну систему впливів, що накладаються на базову гідроекологічну структуру і змінюють її фізико-хімічні, біологічні та трофічні параметри. Протягом останніх десятиліть водозбір Дунайського басейну зазнав послідовного трансформування під впливом інтенсивної урбанізації, зростання промислового виробництва, розширення площ аграрного землекористування та лінійного розвитку транспортної інфраструктури. Відповідно до звітів ICPDR, понад 20 % усіх водних масивів у басейні зазнають тиску через дифузні або точкові забруднення, що виявляється в зміні структури донних біоценозів, зниженні прозорості води та підвищенні біохімічного споживання кисню (BOD5), середнє значення якого у середньому басейні сягає 3,2 мг/л, тоді як екологічно стабільний рівень становить до 2 мг/л. Це свідчить про наявність надлишкового органічного навантаження, пов'язаного переважно з господарсько-побутовими та промисловими стоками, які не проходять повноцінну третинну очистку. Основні скиди зафіксовано в агломераціях Лінц, Будапешт, Новий Сад і Белград - містах, які концентрують

важку індустрію, металургію та хімію, де, навіть за наявності очисних споруд, рівень затримки завислих речовин залишається на межі допустимих нормативів [17, с. 6].

Найбільш деструктивними щодо гідробіологічної структури є поліметалічні компоненти, що походять з електрометалургійних комбінатів і підприємств неорганічного синтезу. Упродовж останніх 15 років у середній течії Дунаю зафіксовано зростання концентрацій кадмію, міді й цинку у зважених речовинах і донних відкладах. Згідно з даними Європейського екологічного агентства, середньорічна концентрація кадмію в окремих пробах сягала 0,5 мкг/л, тоді як екотоксикологічний поріг визначено на рівні 0,2 мкг/л. Це створює ризик накопичення важких металів у трофічному ланцюзі - особливо в організмах донної фауни, таких як молюски та личинки комах, що слугують кормовою базою для риб. Такі метали мають властивість біоаккумуляції і перетворюються на ксенобіотики, що впливають на репродуктивну функцію водних організмів, знижують швидкість росту популяцій і змінюють видовий склад угруповань. У результаті фіксується зменшення чисельності таких чутливих до токсикантів видів, як *Asipenser ruthenus* (стерлядь) і *Hucho hucho* (лосось дунайський), тоді як більш толерантні до умов забруднення *Syrpinus carpio* (короп звичайний) або *Silurus glanis* (сом звичайний) домінують у зоні впливу [8, с. 68].

Паралельно з промисловими скидами значного тиску зазнає річкова система від дифузних агроіндустріальних джерел, що пов'язані з неконтрольованим надходженням мінеральних добрив і засобів захисту рослин до поверхневих вод. Найбільша евтрофікація спостерігається в нижньому Дунайському регіоні - на ділянках між Калараші, Ізмаїлом і дельтовою зоною, де внаслідок поверхневого стоку надходить понад 20 000 тонн азотистих і фосфорних сполук щорічно. За даними аналітичного моніторингу, концентрація розчиненого фосфору в цих зонах перевищує 0,1 мг/л, а нітратів - 4,5 мг/л, що значно перевищує межі фонових значень. У присутності високої інсоляції й температурних аномалій такі умови

створюють ідеальне середовище для розвитку фітопланктону, особливо синьо-зелених водоростей (*Microcystis* spp., *Anabaena* spp.), що спричиняють масове цвітіння води. Під час розпаду біомаси споживається велика кількість кисню, утворюється зона гіпоксії, яка є несприятливою для більшості водних організмів. Саме в ці періоди реєструються масові мор риби - у 2022 році в придунайських плавнях зафіксовано загибель понад 36 тонн водної фауни внаслідок евтрофікаційних процесів.

Ще один блок антропогенних впливів становить фізична трансформація русла річки, пов'язана з гідротехнічним будівництвом, регулюванням рівнів води, поглибленням фарватеру та спорудженням дамб і шлюзів. За останні 70 років понад 80 % довжини середнього й нижнього Дунаю було каналізовано або випрямлено, що призвело до втрати природних алювіальних систем, заплавних лісів і водно-болотних угідь. У процесі таких втручань знижуються самоочисні властивості річки, оскільки зникають мікросистеми біофільтрації, які формувалися за участі вищих водяних рослин, мікроорганізмів і дрібної фауни. Крім того, інтенсифікація потоку під час регулювання сприяє посиленому винесенню донних відкладів, у яких накопичуються токсиканти. Це створює ризик їх повторного потрапляння в обіг і погіршення якості води. Зменшення кількості розгалужень і дельтових рукавів знижує біотопне різноманіття й провокує деградацію нерестових ділянок риб, особливо анадромних видів, таких як осетрові, яким необхідні специфічні мікросередовища [13, с. 16].

Не менш суттєвим фактором є теплове забруднення, яке виникає у зв'язку з діяльністю теплових електростанцій і промислових охолоджувальних систем. Вода, яка використовується для охолодження турбін, повертається в річку з підвищеною температурою - у середньому на 7–12 °C вищою, ніж вхідна. У локальних ділянках це спричиняє утворення термальних плям, які змінюють метаболізм водних організмів, прискорюють розмноження патогенних мікроорганізмів і водоростей, а також призводять до локального зниження розчиненого кисню. Термальне навантаження, особливо у поєднанні

з органічним, стимулює процеси розкладу органіки, що додатково навантажує систему. Наприклад, у районі ТЕС Панчева (Сербія) упродовж літніх місяців температура води в зоні впливу може досягати 29–30 °С, що критично для багатьох холодолюбних видів, зокрема для *Coregonus albula* та *Thymallus thymallus*, які повністю зникають із цих біотопів [24, с. 7].

У зоні дельти Дунаю найбільший виклик становить поєднання багатьох форм навантаження - евтрофікаційного, хімічного, фізичного й біологічного - що створює синергетичний ефект порушення рівноваги. Це виявляється в посиленні процесів замулення, гіпоксії, засолення мілководних бухт і зниженні здатності природних систем до регенерації. Щорічне відкладення понад 70 млн тонн алювію призводить до поступового зміщення берегової лінії, що в комбінації з підвищенням рівня Чорного моря викликає ерозійні процеси й підтоплення. Крім того, зростає загроза проникнення інвазійних видів, які адаптуються до змінених умов. Серед них - *Corbicula fluminea*, *Dreissena polymorpha*, *Ameiurus nebulosus*, які витісняють аборигенні популяції й змінюють харчові ланцюги. Унаслідок цього біорізноманіття дельти знижується, а стійкість екосистеми до зовнішніх факторів слабшає.

Зниження природного потенціалу заплавної екосистеми Дунаю є однією з найвиразніших форм антропогенної деструкції, що вразила гідроекологічний каркас басейну річки за останні півтора століття. Унаслідок масштабної гідротехнічної перебудови течії, спрямованої на покращення судноплавства, меліорацію й захист від повеней, понад 80 % заплачних територій середнього і нижнього Дунаю було ізольовано від основного русла. У межах Австрії та Угорщини втрати заплави досягають 90 %, у Болгарії - понад 75 %, в Україні - близько 60 %. Ізольовання заплави призвело до радикальної втрати середовищ існування для фонових і рідкісних видів, які адаптовані до циклічних гідрологічних змін - періодичних затоплень, зміни рівнів ґрунтових вод, динаміки алувіальних процесів. Особливо чутливими виявилися системи прісноводних боліт, мікрозаплав, лагун і прибережних лісів, які функціонували як буферні біогеоценози з високим ступенем трофічної

взаємодії. За даними досліджень Міжнародної Дунайської комісії, лише на відрізку між Братиславою і Калараші площа природних заплавних ландшафтів зменшилася з 510 000 га до 110 000 га за останнє століття. Це не лише змінює геоботанічну мозаїчність регіону, а й порушує регуляторну функцію водно-болотних угідь у системі самоочищення й гідрологічного амортизування [5, с. 57].

Зменшення біотопного різноманіття призвело до драматичних змін у видовому складі фауни, що асоціюється з дунайськими водно-заплавними екосистемами. Згідно з польовими спостереженнями та аналізами біоіндикаторних видів, чисельність земноводних у регіоні зменшилася на 40–60 %, зникли або стали рідкісними популяції *Triturus dobrogicus*, *Bombina bombina*, *Pelobates fuscus*. Такі види надзвичайно чутливі до втрати сезонно затоплюваних мікроекоотопів, де відбуваються їх розмноження й метаморфози. Для багатьох видів птахів, таких як *Ardea purpurea*, *Egretta alba*, *Platalea leucorodia*, зміна гідрологічного режиму призвела до деградації гніздових колоній, які традиційно розміщувалися в затоплюваних заростях очерету та вологих лісах. Втрата доступу до рибних ресурсів, які також постраждали від гідроморфологічних трансформацій, спровокувала переміщення або колапс кормових ланцюгів для багатьох хижих птахів. Популяції *Pandion haliaetus* і *Haliaeetus albicilla*, хоч і збереглися завдяки охоронним заходам, демонструють нестабільну динаміку чисельності й залежать від обмеженої кількості репродуктивно придатних біотопів.

Рослинний покрив заплав трансформувався в напрямку редукції видового складу та збільшення частки еврибионтних, рудеральних і агресивних інвазивних видів. В умовах зниження вологості ґрунтів, зміни хімічного складу осадів і скорочення періодів затоплення зникають ендемічні та реліктові види - наприклад, *Aldrovanda vesiculosa*, *Hottonia palustris*, *Trapa natans*. У результаті цього змінюється структура макрофітів, скорочується біомаса підводних угруповань, що впливає на весь комплекс трофічних взаємодій. Поряд із цим, значно активізується поширення інвазійних видів:

Elodea canadensis, *Echinocystis lobata*, *Impatiens glandulifera*. Вони мають здатність швидко колонізувати вивільнені екотопи, пригнічуючи автохтонні фітоценози. Зростає загроза монокультуризації прибережної рослинності, що послаблює стійкість екосистеми до кліматичних стресів і механічного руйнування.

На особливу увагу заслуговує ефект «гідроізоляції», коли внаслідок спорудження дамб, берегоукріплень і каналів природні водообмінні процеси між головним руслом і заплавами були розірвані. Це призвело до трансформації заправ з динамічних елементів річкового ландшафту в застійні анклавні без активного водного поновлення. У таких умовах знижується рівень кисню, накопичуються токсичні метаболіти, порушується обіг органіки, що призводить до деградації функціональної цінності біоценозів. Особливо яскраво цей процес виявляється в нижній течії - у дельті Дунаю, де колись надзвичайно розгалужена мережа рукавів і плавнів зараз функціонує на 30–50 % від потенціалу природного гідрологічного режиму. Структура дельти поступово змінюється у бік каналізованого середовища з високим ступенем антропоцентричної регуляції, що руйнує механізми саморегенерації екосистем. За результатами моделювання, зниження гідрологічної активності на 1 см у дельтовому поясі призводить до втрати близько 2500 га біологічно активної заплави протягом 10 років [16, с. 4].

Однією з найменш видимих, але критично значущих втрат є зниження функцій екологічної пам'яті та біологічної резилієнтності. В умовах редукції заплавних ландшафтів втрачаються мікроареали з унікальними мікрокліматами, ґрунтовими умовами та фітобіоценозами, які є сховищами генетичного різноманіття. Такі елементи, як залишкові ділянки прісноводних лук, лісові заплави типу *Fraxino-Ulmetum*, болотні ділянки з *Carex elata* та *Gluceria maxima* - це не просто осередки біорізноманіття, а просторові одиниці адаптивного потенціалу, здатні до природної репарації ландшафту в разі катастроф або деградації. Їх втрата означає зменшення еволюційної здатності екосистеми до самовідновлення, особливо в умовах глобальних кліматичних

змін. У цьому контексті гідроморфологічне вирівнювання несе не лише прямі екологічні загрози, а й латентні - стратегічні втрати для стійкості біосистем у довготривалій перспективі.

1.3. Програми збереження і відновлення р. Дунай

Інституційна архітектура програм збереження та відновлення річки Дунай сформована на перетині природоохоронного права, транскордонного ресурсного менеджменту та екологічного планування, які узгоджуються через низку нормативних актів, багатосторонніх угод і координаційних платформ. Одним із наріжних документів цього процесу є Рамкова водна директива Європейського Союзу 2000/60/ЄС, яка стала основою для формування єдиної системи управління водними ресурсами в межах Дунайського басейну. Цей документ передбачає досягнення «доброго екологічного стану» вод за чітко визначеними біологічними, гідроморфологічними та фізико-хімічними критеріями до 2027 року, а також зобов'язує всі держави-члени формувати й реалізовувати національні плани управління річковими басейнами (RBMP). У межах цих планів здійснюється картографування водних масивів, ідентифікація точкових і дифузних джерел забруднення, визначення водозаборів, а також інвентаризація антропогенних модифікацій русел. Для Дунайського басейну такий документ уперше був узгоджений у 2009 році під егідою Міжнародної комісії з охорони річки Дунай (ICPDR) і надалі переглядався у 2015 та 2021 роках [25, с. 24].

Механізми реалізації екологічної політики в межах басейну Дунаю функціонують через багаторівневу координацію: від локального рівня муніципалітетів і водокористувачів - до міждержавного співробітництва, що включає не лише країни-члени ЄС, але й інші прибережні держави, як-от Сербія, Україна, Молдова, Боснія і Герцеговина. Основна платформа для такої координації - ICPDR, утворена на базі Конвенції про співпрацю щодо захисту та сталого використання річки Дунай, що набула чинності у 1998 році. Комісія об'єднує 14 країн і Європейський Союз, забезпечуючи уніфікацію

моніторингу, обмін гідроекологічними даними, гармонізацію законодавства й організацію спільних дослідницьких проєктів. У межах ICPDR реалізовано мережу транснаціонального екологічного моніторингу TransNational Monitoring Network (TNMN), яка охоплює понад 100 гідропостів і лабораторій, що здійснюють постійний контроль за вмістом нітратів, фосфатів, BOD5, важких металів, пестицидів та бактеріального забруднення. За результатами останнього циклу моніторингу (2022), понад 38 % масивів поверхневих вод не досягають доброго хімічного стану, а в деяких регіонах (наприклад, у Середньому Дунаї - між Будапештом і Новим Садам) цей показник сягає 55 %.

Програмно-фінансова база для імплементації екологічних заходів формується за рахунок поєднання національних бюджетів, грантів ЄС (зокрема, Інструменту передвступної допомоги IPA), фондів LIFE+, INTERREG, Horizon Europe, а також технічної допомоги Європейського інвестиційного банку. В період 2014–2020 років лише в межах регіонального компоненту Дунайської стратегії було реалізовано понад 150 проєктів вартістю 210 млн євро, з яких 40 % були спрямовані на водоочисну інфраструктуру, 25 % - на реставрацію водно-болотних угідь і природних заплав, 20 % - на підвищення стійкості до паводків, і 15 % - на екологічну освіту та громадську участь. Один із найбільш масштабних - проєкт Danube Sediment, спрямований на відновлення природного осадового балансу та зменшення ерозії берегів. Його реалізація дозволила встановити 40 нових станцій для моніторингу седиментації та запропонувати сценарії управління русловими процесами з мінімальним екологічним впливом [14, с. 20].

Окрему нішу в системі управління займають інтегровані програми з відновлення заплав і екосистем. У цьому напрямі працюють ініціативи Green Danube, DRB Wetlands Restoration і Living Danube Partnership, що координуються в партнерстві з WWF, Wetlands International та Європейською Комісією. На прикладі трансформованої території на острові Ферке (Словаччина) вдалося повернути у функціональний стан понад 1200 га заплав, забезпечивши реколонізацію 17 видів водно-болотної фауни та зменшення

щорічного навантаження на очисні споруди за рахунок природної біофільтрації. Подібні заходи реалізовано в Румунії (Балта Міца), Сербії (Апатинські острови), Хорватії (Копачкі рит), де завдяки відновленню гідрологічного зв'язку між руслом і заплавою вдалося знизити середню концентрацію фосфатів на 30–40 % у прибережній зоні. Реставрація відбувається шляхом демонтажу старих дамб, відкриття каналів, глибокого риття мілководних біотопів, регенерації очеретяних і лучних масивів із використанням автохтонного насіння та природної сукцесії.

Пріоритетним напрямом для майбутніх циклів планування в межах Рамкової водної директиви є також зменшення впливу кліматичних змін на гідроекосистему Дунаю. Згідно з моделюванням, у разі збереження сучасних трендів до 2050 року річний стік у середньому басейні зменшиться на 10–15 %, що загрожує стабільності водопостачання, навігації та охолодження промислових систем. У відповідь розроблено Дунайську кліматичну адаптаційну стратегію (DCAS), яка передбачає ревізію інфраструктури з урахуванням сценаріїв зміни гідрографії, впровадження водозберігаючих технологій, підвищення гнучкості аграрного водокористування та модернізацію систем раннього попередження про паводки. Особливу увагу приділено цифровізації гідрологічного управління - запровадженням платформ типу DanubeHIS (Hydrological Information System), які забезпечують уніфікований обмін даними в режимі реального часу, інтегруючи метеорологічні прогнози, супутникові зображення та польові дані моніторингу.

Громадська участь та освітні програми стали важливою складовою формування екологічної відповідальності в регіоні. У межах ICPDR щорічно проводиться кампанія Danube Day, яка охоплює понад 200 000 учасників у 14 країнах, включаючи учнів, студентів, викладачів, фермерів, інженерів та управлінців. Створено понад 500 інформаційних стендів, видано тисячі брошур, плакатів і відео, проведено сотні семінарів, екологічних ігор, виставок і форумів. У партнерстві з місцевими університетами, зокрема у Відні,

Будапешті, Новому Саді та Крайові, запроваджено програми підготовки спеціалістів з управління водними ресурсами, що базуються на міждисциплінарному підході та інтегрують гідрологію, екологію, право й економіку. Це створює фундамент для сталого управління басейном через виховання нового покоління фахівців, здатних приймати рішення на основі науково обґрунтованих моделей і екосистемного мислення [6, с. 45].

Система збереження й відновлення Дунаю є показовим прикладом того, як природний водний об'єкт може бути перетворений на полігон для апробації інтегрованих, багаторівневих, науково вивіренних екологічних політик, що враховують не лише хімічний і фізичний стан води, а й біорізноманіття, соціальні практики, інфраструктурні ризики та зміни клімату. Завдяки поєднанню директивної бази ЄС, практичних ініціатив ICPDR, регіональних проєктів і активної участі громадськості, Дунай поступово трансформується з об'єкта експлуатації у просторову структуру співвідповідальності. Його екосистема залишається чутливою до впливів, але водночас демонструє потенціал до відновлення, якщо втручання відбувається системно, міжсекторально і з опорою на довготривалі програми. Саме в такій моделі управління формується концепція «зеленої гідросфери», де вода - це не лише ресурс, а й середовище співжиття, знання, спадку й колективної дії.

РОЗДІЛ 2. ПРОГРАМА, МЕТОДИКА ТА УМОВИ ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1. Мета і завдання роботи

Дослідження екологічного стану вод української частини річки Дунай базується на чітко визначеній концепції оцінки параметрів водного середовища з фокусом на встановлення реального рівня екологічної безпеки в межах транскордонної гідрологічної системи.

Метою є комплексна екологічна оцінка якості поверхневих вод річки Дунай в межах її української частини на стратегічно важливих ділянках - м. Рені, с. Ліски, м. Ізмаїл, м. Кілія та м. Вилкове, з особливим акцентом на гідроекологічні умови Кілійського та Кислицького рукавів, що є критичними для дельтової динаміки.

Завдання, поставлені для досягнення мети:

1. Здійснити аналіз літературних джерел щодо сучасного стану річки Дунай та основних джерел його забруднення;
2. Виявити основні джерела впливу на формування якості води річки;
3. Сформувати базу даних показників якості води гирлової частини Дунаю в межах території України;
4. Проаналізувати просторові і часові зміни екологічного стану якості води річки Дунай.

2.2. Об'єкт і предмет досліджень

Об'єкт дослідження: просторово-часові зміни якості поверхневих вод української частини річки Дунай. Просторово часовий аспект дозволяє дослідити динаміку змін якості вод уздовж різних ділянок річки. Туди враховується географічне розташування (від початку української ділянки до гирла) і часові чинники (сезонні, річні коливання, вплив клімату, екстремальних подій тощо). Сезонні зміни температури води, кількості опадів,

інтенсивності біологічних процесів тісно пов'язані і впливають на вміст розчиненого кисню, БСК, рН.

На різних ділянках Дунаю показники можуть суттєво відрізнятися залежно від природних умов (тип ґрунту, рельєф, рослинність тощо). Додатковий вплив йде з сільськогосподарської діяльності, включаючи розташування міст, підприємств та с/г угідь).

Предмет дослідження: фізичні, фізико-хімічні та хімічні показники якості води р. Дунай. Тут увагу приділено виявленню тенденції зміни цих показників по пунктах та визначення потенційних джерел забруднення.

На кожній із визначених ділянок було проведено послідовний гідрохімічний, гідробіологічний та екотоксикологічний аналіз, орієнтований на ідентифікацію відхилень від фонових значень, що використовуються у національних стандартах та європейських еквівалентах (EU-WFD). Визначаються нормативні порогові значення для кожного з показників, згідно з чинними директивами Water Framework Directive (WFD 2000/60/EC), гармонізованими з українським законодавством. Ключовим вектором є діагностика інтегрального індексу якості вод, що формується шляхом зіставлення емпіричних значень біогенних елементів (азот, фосфор, кисень тощо), фізико-хімічних індикаторів (температура, прозорість, рН, електропровідність і т.д.) та біотичних ознак (видовий склад зоопланктону, бентосу, фітопланктону). [10, с. 15].

Прогнози щодо підвищення температури води і зміни гідрологічного режиму обґрунтовують необхідність врахування сезонних коливань у моніторингу. За результатами досліджень Катинської І.В. та її співавторів. Виявлено просторово-часові відмінності у якості поверхневих вод Дунаю. У їх роботі проаналізовано оцінку річкового притоку до Сасикського лиману в умовах кліматичних змін, що має зв'язок із гідрологічним режимом та якісними характеристиками вод у дельтовій частині р. Дунай. На основі власних гідрохімічних вимірювань, просторовий аналіз доповнено оцінкою варіативності (CV) класифіковано параметри за ступенем стабільності в межах

одного гідросезону. Так, для вмісту розчиненого кисню значення CV коливається від 8,3% до 25,7% залежно від зони, з найменшою варіацією у гирловій частині Кілії, що обумовлено стабільністю притоку та менш вираженою сезонною евтрофікацією. Натомість для фосфатів (PO_4^{3-}) CV сягає 38,9% у припортових ділянках, де спостерігається циклічне підвищення концентрації в літній період через збільшення стоку добрив і промислових скидів. Температурні флуктуації в поверхневому шарі досягають 19,1 °C протягом року (від 1,8 °C у січні до 21,2 °C у липні), що прямо корелює з динамікою хімічного споживання кисню (ХСК), особливо в ділянках зі зниженою течією, де акумуляція органічних речовин призводить до локальної гіпоксії. За даними аналізу, амонійний азот (NH_4^+) виявляє стабільно підвищені рівні у зимовий період, з піковими значеннями до 2,6 мг/дм³, що пов'язано з уповільненням нітрифікаційних процесів при низьких температурах [19, с. 35].

Наявність часопросторової бази даних дозволяє не лише фіксувати поточні параметри, але й здійснювати побудову сценаріїв з урахуванням імовірнісного прогнозу.

2.3. Характеристика умов проведення дослідження

Поверхневі води українського сектору Дунаю формують складну, поліструктурну гідросистему з ієрархічною будовою, де кожен функціональний сегмент - окрема морфо-гідрологічна одиниця з притаманним режимом течії, седиментації, температурної динаміки, рівня солоності та трофності(рис.1). Аналіз проводиться на основі порівняння архівних даних мережі постів державного моніторингу якості поверхневих вод Центральної геофізичної обсерваторії імені Б. Срезневського (ЦГО).

Вибір пунктів моніторингу поверхневих вод української частини Дунай нами був здійснений з урахуванням просторового покриття та наявних даних.

Для дослідження було вибрано два часові періоди:

- Перший (2010-2014 рр.) – відображає стан Дунаю у відносно стабільний післякризовий період;
- Другий (2021-2023 рр.) – демонструє сучасний стан річки у контексті нових екологічних викликів, включаючи наслідки воєнних дій, зміни клімату та зростання навантаження на водні ресурси.

Дослідження першого періоду (2010-2014 рр.) проводиться в межах п'яти ключових вузлів, які формують основу системної просторової структури: місто Рені (945 км), Ізмаїл (933 км), Кілія (918 км), Вилкове (712 км) та дельтовий Кілійський рукав (рис. 2).

У другому періоді (2021-2023 рр.) мережу спостережень видозмінили, частину пунктів було вилучено – зокрема, м. Рені, Вилкове більше не значаться у архівних звітах. Проте включили нові пункти: Кислицький рукав та с. Ліски (рис. 2). Збереженні пункти збору в обох періодах забезпечує базу для коректного порівняння, а додання нових ділянок дозволяє акліматизувати оцінювання для сучасного стану водної мережі Дунаю.

Вибір усіх цих точок обґрунтовано багаторівневою класифікацією за гідрофізичними параметрами, близькістю до джерел забруднення (промислові об'єкти, портові комплекси, агроіндустріальні зони), морфометричними особливостями (глибина, площа поперечного перерізу, кут нахилу берегової лінії) та репрезентативністю щодо донних осадів, які акумулюють сліди хронічного забруднення.



Рис. 1. Річка Дунай на території України (джерело: Google Earth та <https://danubecommission.maps.arcgis.com>)



Рис. 2. Розташування пунктів моніторингу на р. Дунай (авторська розробка на основі Google Earth)

Відповідно до затвердженого Порядку здійснення державного моніторингу вод [53] на кожній ділянці повинно фіксуватися п'ять класів змінних: фізико-хімічні (провідність, температура, вміст кисню, редокс-потенціал), хімічні (концентрація нітратів, фосфатів, хлоридів, амонію, важких металів - кадмію, свинцю, цинку, міді, марганцю), біологічні (щільність фітопланктону, макрофітів, чисельність зоопланктону, рівень хлорофілу-а), гідробіологічні (видова структура, кількість детриту, індекс сапробності, біоіндикатори) та антропогенні (відстань до джерел стоку, щільність населення, інтенсивність судноплавства, наявність гідротехнічних споруд) [29, с. 7].

Наразі постійний моніторинг якості води Дунаю в межах України проводиться двома службами: лабораторією Басейнового управління водних ресурсів Причорномор'я та нижнього Дунаю Держводагенства та Дунайською гідрометеорологічною обсерваторією ДСНС (Державної служби надзвичайних ситуацій). У конкретному випадку, Дунайська гідрометеорологічна обсерваторія виконує спостереження за 14 пунктами моніторингу, із середньою частотою відбору проб - двічі на місяць, протягом одного гідрологічного року. Загалом там визначаються 38 показників. Результати вимірювань показників якості води зберігаються в базі даних Центральної геофізичної лабораторії ім. Бориса Срезневського [51, с.30].

Кожна проба проходить через спектрофотометричне, титриметричне та хроматографічне дослідження з визначенням понад 20 параметрів, включаючи й органічне забруднення (за показниками БСК5 та ХСК), вміст синтетичних поверхнево-активних речовин і поліциклічних ароматичних вуглеводнів [21, с. 17].

Просторове розміщення базується на векторі екосистемної цінності: локації обрані не лише за рівнем концентрації потенційних джерел забруднення, а й за здатністю до природної біотичної регенерації та підтримки біорізноманіття. Наприклад, район Рені (координати 45°26' пн.ш., 28°16' сх.д.) - стратегічна точка через наявність великого вантажного порту та кількох

промислових скидів, тоді як сектор Вилкового ($45^{\circ}24'$ пн.ш., $29^{\circ}35'$ сх.д.) має мозаїчну структуру дельтових водно-болотних угідь, що функціонують як природні фільтратори органічних і неорганічних речовин [31, с. 5].

З урахуванням впливу локальних навантажень, усі дослідні ділянки поділяються за ступенем урбанізаційного пресингу: низький - зони з відсутністю населених пунктів у радіусі до 10 км (4 точки – територія поблизу о. Єрмаків, середина дельти Дунайського біосферного заповідника, верхня ділянка Кілійського рукава та околиці с. Орлівка), середній - із розміщенням малих поселень (7 точок – точки поблизу сіл Ліски, Матроска, Нагірне, Біла, Стара Некрасівка, Новосільське та Мирне), високий - райони з густотою населення понад 300 осіб/км² (7 точок, зокрема Ізмаїл, Рені та прилеглі до Вилкової агломерації). Зокрема, Ізмаїл характеризується найбільшим рівнем техногенного навантаження: щоденний обсяг очищених і неочищених стічних вод сягає 12 700 м³/добу, а сумарна довжина водовідвідних каналів перевищує 17,3 км, що робить його найважливішим техногенним центром спостереження. У Рені обліковано 5 джерел постійного зливу від підприємств із металургійним та хімічним профілем, із викидом до 3,6 т завислих речовин на добу за середньорічним показником [23, с. 6].

Гідрологічна структура зон спостереження охоплює всі типи водних утворень - від основного річища до вторинних розгалужень, проточних озер, технічних каналів та заболочених територій. У межах дельти найбільшу увагу приділено Кілійському рукаву - найпотужнішому за витратами води (до 61% від загального об'єму розподілу в дельті), довжиною понад 104 км, із мережею дрібних рукавів, проток та заводей. Тут зафіксовано найбільшу площу рекреаційно-рибогосподарського використання - понад 14 000 га, що створює потенційні зони біогенного навантаження через надмірну евтрофікацію. У межах сектору Вилкового моніторинг охоплює також частину природного парку «Дунайські плавні», який має статус водно-болотного угіддя міжнародного значення (Рамсарська конвенція). Це передбачає фіксацію не лише гідрохімічних параметрів, а й сезонної міграції біоти, зокрема

водоплавних птахів, що функціонують як індикатори екосистемної стабільності.

Моніторингова мережа, сформована в межах нижньої української течії Дунаю, побудована за принципом транскордонної інтегрованості, що дозволяє врахувати не лише суто локальні гідрологічні впливи, а й багатовекторний вплив зовнішніх джерел – румунських, угорських, сербських викидів і дифузного фону забруднення, який переноситься з верхньої частини басейну. Розміщення постів спостереження орієнтоване на топологічні та гідравлічні вузли, де перетинаються течії природного та техногенного характеру, включаючи ділянки з динамічним змінним руслом, відгалуженнями, транспортними коридорами, а також підпруженими зонами водосховищ і дельтових галузей. Секторальна карта постів охоплює центральну вісь русла та периферійні зони розведення, що забезпечує повноцінний контроль за фазами перемішування, седиментації й переносу контамінантів. Зокрема, у межах Ізмаїльського каналу було враховано напрямок переважаючої течії - 217° від північного сходу, із середньою швидкістю 0,41 м/с, що дає змогу змоделювати дисперсію речовин у межах 72 годин від точки скиду. У гирловій зоні (Вилкове) враховано сумісний вплив припливного режиму з боку Чорного моря, який змінює орієнтацію течії двічі на добу з амплітудою до 0,6 м.

Зокрема, зона дельти характеризується сильною морфодинамікою - зсув берегової лінії в межах 2,1–3,4 м/рік, що впливає на зміну руслової системи та формує нові осередки депонування. Усі точки обрані так, щоб включати як прямий вплив приток (Ялпуг, Кагул, Сасик), так і зони гідравлічного затишшя, де спостерігається накопичення осадів та відбувається рекурсивне перенасичення середовища забруднювачами. Вибір точок Кілійського рукава пояснюється його домінантною часткою у водному балансі дельти - до 62% загального стоку, а також наявністю великої кількості гирлових озер, що діють як природні седиментатори. Особливо цінною з наукової точки зору є точка в районі гирла Прорва, де поєднуються гідравлічна нестійкість, змінність течії й

вплив морських припливів, що формує унікальну лабораторію природного перемішування мас [15, с. 26].

Гідрологічні умови в період дослідження враховували сезонні зміни рівня води та опадів, які фіксувались за даними локальних постів спостереження ДСНС України та Центру гідрометеорології. Середньорічний рівень води в контрольних точках коливався в межах 1,58–3,04 м, із піком у червні, що супроводжувався середнім щомісячним обсягом стоку 7 200 м³/с. Згідно з гідрографом, періоди найменшої водності - грудень–лютий, коли рівень опадів зменшувався до 18–22 мм/міс., що призводило до зниження розбавлення й концентраційне зростання низки поллютантів. У цей період також посилювались температурні інверсії, що впливали на вертикальну стратифікацію й біогенні процеси. Улітку, при середній температурі води +22,6 °С і підвищеній інсоляції (до 14 год/день), спостерігалось інтенсивне цвітіння фітопланктону, особливо в межах тихих заводей і староріч, де швидкість течії знижувалась до 0,14 м/с. Умови перемішування водних мас фіксувались шляхом визначення коефіцієнта вертикального градієнта температур, який у середньому для досліджуваного періоду становив 0,8 °С/м - показник високої стратифікованості, особливо у пригирлових ділянках.

У дельтовій зоні Кілії визначено найбільше число мікрозаплав, які служать як депо для біогенних сполук, із середньою глибиною 1,1 м і швидкістю осадження до 3,4 мм/добу. В таких зонах умови обміну кисню обмежені, що спричиняє формування анаеробних шарів у донних осадах і вивільнення сірководню, амонію, фосфатів у товщу води при сезонних сплесках температури. Умови цих зон визначаються як критичні в межах системи просторового моделювання, і їх інтенсивність детально описана у відповідних графоаналітичних блоках програми.

Таким чином, місце проведення та природно-гідрологічні умови були відібрані й структуровані на основі багатокomпонентної просторової матриці, яка охоплює понад 40 змінних, інтегрованих у систему аналізу через уніфіковану геоданну платформу. Такий підхід дозволяє фіксувати не лише

фактичний рівень водної якості, а й моделювати шляхи поширення впливів, взаємодію фізичних чинників і складних синергетичних ефектів, що виникають у результаті поєднання сезонної гідрології та постійного антропогенного навантаження. Структура вибору точок забезпечує повну відтворюваність дослідження, що дозволяє використати зібраний масив як базу для міжрічкового порівняння або інтеграції в транснаціональні проекти екологічного моніторингу.

2.4. Методика комплексної екологічної оцінки якості води

Якість води зазвичай оглядається як характеристика її складу та властивостей у контексті функціонування екосистеми води, умов буття гідробіонтів та відповідності для різних напрямів людського використання. Така різноманітність використання поверхневих водних об'єктів України породила складну систему класифікацій і нормативів, яка включає різні аспекти якості природних вод.

Комплексна екологічна оцінка якості поверхневих вод є важливою частиною управління водними ресурсами та характеризування стану водних екосистем. Системний аналіз показників складу і властивостей води – головна складова частина для такої оцінки. Дані згруповані за функціональними блоками та вказують як природні характеристики водойми, так і ступінь антропогенного навантаження на неї.

У масштабах екологічного підходу найважливішою є «Методика екологічної оцінки якості поверхневих вод за відповідними категоріями», вона включає систему спеціалізованих екологічних класифікацій, яку поділено на три блоки [52]:

1. Показники сольового складу – сюди відносять чотири класифікації (мінералізація, іонний склад та рівень забруднення прісних та солонуватих вод компонентами сольового походження);

2. Трофо-сапробіологічні показники, або ще їх називають еколого-санітарними – представлені однією класифікацією, яка включає оцінку ступеня органічного забруднення водойм. Тут важливими компонентами є індекси сапробності та зони сапробності. Залежно від чутливості організмів до органічних домішок, виокремлюють п'ять зон (ксеносапробну, оліго-сапробну, β -мезосапробну, α -мезосапробну та полісапробну);
3. Показники токсичної та радіаційної дії – розглядає три класифікації, які ґрунтуються на концентраціях специфічних токсичних речовин, рівні загальної токсичності та показниках радіоактивного забруднення (рис.3).

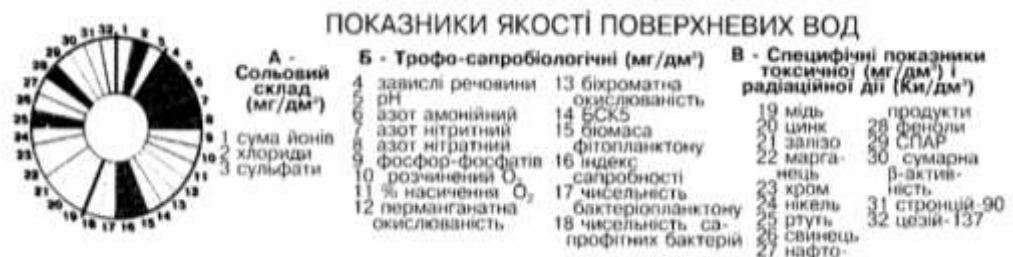


Рис. 3 - Показники якості поверхневих вод [54]

Загалом екологічна система класифікацій якості поверхневих вод містить в собі вісім класифікацій. Для шести з них (крім перших двох) передбачається поділ показників на п'ять класів і сім категорій якості вод, які мають певну назву (рис.4):

I клас (категорія 1) – «відмінна», «дуже чиста» вода;

II клас (категорії 2-3) – «дуже добра», «чиста» і «добра», «досить чиста» вода;

III клас (категорії 4-5) – «задовільна», «слабко забруднена» і «посередня», «помірно забруднена» вода;

IV клас (категорія 6) – «погана», «брудна» вода;

V клас (категорія 7) – «дуже погана», «дуже брудна» вода.

Клас якості вод	I		II		III		IV	V
Категорія якості вод	1	2	3	4	5	6	7	
Назва класів і категорій якості вод за їх станом	Відмінні	Добрі		Задовільні		Погані	Дуже погані	
	Відмінні	Дуже добрі	Добрі	Задовільні	Посередні	Погані	Дуже погані	
Назва класів і категорій якості вод за ступенем їх чистоти (забрудненості)	Дуже чисті	Чисті		Забруднені		Брудні	Дуже брудні	
	Дуже чисті	Чисті	Досить чисті	Слабко забруднені	Помірно забруднені	Брудні	Дуже брудні	
Трофність (переважаючий тип)	Оліготрофні	Мезотрофні		Евтрофні		Політрофні	Гіпертрофні	
	Оліготрофні – оліго-мезотрофні	Мезотрофні	Мезоевтрофні	Евтрофні	Ев-політрофні	Політрофні	Гіпертрофні	
Сапробність	Олігосапробні		β-мезосапробні		α-мезосапробні		Полісапробні	
	β-олігосапробні	α-олігосапробні	β'-мезосапробні	β"-мезосапробні	α'-мезосапробні	α"-мезосапробні	Полісапробні	

Рис. 4 - Класи і категорії якості поверхневих вод суші та естуаріїв України за екологічною класифікацією [54]

Додатково категорії враховують сапробність (рівень органічного забруднення) та трофність (біологічну продуктивність), що покаже більш детальну оцінку екологічного стану водойми.

Таке шкалювання дозволяє не лише ідентифікувати проблемні зони, а й забезпечує просторову візуалізацію результатів із високим рівнем міжрегіональної порівняльності.

Методика оцінки екологічного стану поверхневих вод побудована на принципі міждисциплінарної інтеграції показників різної природи - від фізико-хімічних до біологічних, включно з гідроморфологічними характеристиками, що враховують структурну змінність водного середовища. Для створення уніфікованої аналітичної моделі застосовується багатофакторний підхід, де кожна група параметрів набуває вагового значення в межах загальної шкали оцінювання, що дозволяє сформуванню багатовимірний вектор екологічної інтенсивності для кожної ділянки дослідження. Фізико-хімічні показники включають такі індикатори, як електропровідність, температура, рН, вміст розчиненого кисню, хлориди, сульфати, фосфати, нітрати, нітрити, амоній, залізо, марганець, свинець, кадмій, ртуть, хром, мідь, цинк, а також органічне забруднення - біохімічне (БСК₅) та хімічне споживання кисню (ХСК) [26, с. 4].

Аналітична конструкція екологічної оцінки водного середовища базується на принципі агрегованої трансформації багатовимірною набору параметрів у єдину числову характеристику - екологічний індекс (І_Е), який

відображає інтегральний рівень антропогенного навантаження та природного самоочищення. Усі нормалізовані параметри заносяться до структурованої бази, де кожен індикатор має свою вагу. Такий підхід дозволяє математично формалізувати різномірні дані - гідрохімічні, мікробіологічні, біотичні, гідроморфологічні - в рамках єдиного операційного простору, де кожна змінна впливає на кінцевий результат пропорційно своїй екологічній значущості.

Першим етапом є групування даних за просторовими та часовими критеріями, це дозволяє врахувати сезонні та локальні зміни. Для кожного з наданих показників обчислюється середнє арифметичне значення, а також визначаються найкращі та найгірші(мінімальні та максимальні) значення. Такі обчислення проводяться із використанням методів математичної статистики.

Наступний етап – порівняння показників із відповідними нормативними значеннями, які наведені в екологічних класифікаціях. Для кожного параметра фіксується відповідна категорія якості вод за середнім та найгіршим значенням. Така оцінка проводиться окремо для кожного з трьох блоків:

- Сольовий склад (I_1);
- Трофо-сапробіологічні показники (I_2);
- Специфічних речовин токсичної та радіаційної дії (I_3).

Узагальнення оцінок за блоками є нашим наступним кроком. У рамках кожного блоку встановлюються інтегральні індекси, які беруть до уваги рівень забруднення за усіма відповідними показниками.

Формула обчислення екологічного індексу представлена:

$$IE = \{I_1 + I_2 + I_3\} / 3,$$

де I_1 - індекс забруднення складниками сольового складу;

I_2 - індекс еколого-санітарних показників (трофо-сапробіологічних);

I_3 - індекс специфічних показників токсичної і радіаційної дії.

Індекс ІЕ встановлюється як для середніх, так і для найгірших значень, тому що це дозволяє показати як характерний (типовий), так і критичний стан води на об'єкті.

Зауважимо, що існують недоліки цієї методики. По-перше, при її розробці не було зауважено рибогосподарські ГДК (гранично допустимі концентрації) речовин, які є більш наближеними до екологічних нормативів. По-друге, методика не враховує поллютанти, що не входять до затвердженого переліку показників. Тим самим, речовина, яка не входить у перелік, не буде врахована, навіть за наявності значної концентрації у воді. По-третє, методика не включає в себе ефект сумарної дії речовин (в умовах об'єднаного забруднення речовини можуть мати підсилений негативний вплив у сукупності). Також, прогалиною може виступати те, що у підсумку, різні за ступенем забруднення речовини можуть отримати однаковий індекс. Останнім недоліком вважається – найбільше значення індексу для показників 7, воно не залежить від того, наскільки сильно перевищено ГДК. Це суттєво занижує значення такого індексу екологічного стану [53, с. 49].

Методика враховує також ретроспективний тренд - для цього застосовується рухома середня з вікном у 5 спостережень, що дозволяє виявити довгострокову тенденцію. Якщо за цей період індекс змінюється більше ніж на 0.12 у будь-який бік, модель ідентифікує цю зміну як динамічний тренд і створює маркер довгострокової деградації або покращення.

Таким чином, екологічний індекс, не є простою зведеною характеристикою - це структурована аналітична одиниця, що поєднує математичну точність, екологічну релевантність та практичну придатність до ухвалення рішень у сфері водного управління. Методика дозволяє застосовувати ЕІ як інструмент для оцінювання ефективності екосистемних заходів, стратегій санації, управління джерелами забруднення, формування екозон, встановлення санітарних меж та екологічного аудиту для індустриальних об'єктів. І найголовніше - вона є гнучкою, масштабованою і готовою до використання як у локальному, так і в транснаціональному вимірі.

РОЗДІЛ 3. ЕКОЛОГІЧНА ОЦІНКА ЯКОСТІ ВОДИ УКРАЇНСЬКОЇ ЧАСТИНИ РІЧКИ ДУНАЙ

3.1. Формування бази даних

Для проведення екологічної оцінки якості води української частини річки Дунай у межах дипломної роботи було створено базу даних, яка включає в себе інформацію про фізико-хімічні та токсикологічні показники води, опубліковану в офіційних джерелах. Було опрацьовано дані з архіву Центральної геофізичної обсерваторії імені Бориса Срезневського (м. Київ). Джерелом інформації стали офіційні таблиці спостережень за якістю вод (ЩДЯ) у паперовому вигляді [50]. Через те що електронні версії були недоступні до розгляду, дані збиралися вручну: таблиці фотографувалися, згодом значення показників переносилися у таблицю Microsoft Excel.

Метою створення бази даних є збір, впорядкування та аналітична обробка певних показників для наступного проведення комплексної екологічної оцінки згідно з затвердженою методикою.

Для аналізу динаміки змін було обрано два періоди: 2010-2014 роки та 2021-2023 роки.

У складі вихідних таблиць розміщувалися понад 50 гідрохімічних та фізико-хімічних показників. Однак для аналізу було відібрано 22 з них, які повністю можуть відобразити стан поверхневих вод згідно методики екологічної оцінки. Туди входять такі показники: прозорість в метрах, завислі речовини (мг/дм³), рН, вміст розчиненого кисню (мг О₂/дм³), % насичення киснем, сума іонів (мг/дм³), хлориди (мг/дм³), сульфати (мг/дм³), біхроматне окиснення (мг О/дм³), БСК₅ (мг О₂/дм³), азот амонійний, азот нітритний, азот нітратний (мг N/дм³), фосфор ортофосфатів (мг P/дм³), залізо загальне, манган, мідь, цинк, хром, феноли, нафтопродукти та СПАР (мкг/дм³).

Для структурованості оцінки ці показники було поділено за трьома блоками:

- 1) Блок А (сольовий склад): сума іонів, хлориди та сульфати;

- 2) Блок Б (трофо-сапробіологічні ознаки): завислі речовини, прозорість, рН, кисень, БСК₅, азот і фосфор;
- 3) Блок В (специфічні токсичні речовини): важкі метали, органічні речовини.

Наступним кроком є проведення розрахунку середніх (функція AVERAGE) та найгірших (максимальних) значень (функція MAX чи MIN) кожного показника за пунктами відбору (табл. 3.1). Середні значення характеризують стабільний екологічний стан водойми, а найгірші – найбільші відхилення від норми. Такий підхід дозволив нам забезпечити повноцінну кількісну оцінку динаміки якості вод.

Слід вказати, що за період 2021-2023 років були відсутні дані за такими важливими показниками:

- Завислі речовини;
- Залізо загальне;
- Манган;
- Мідь;
- Цинк;
- Хром;
- Феноли;
- Нафтопродукти;
- СПАР.

Їх відсутність впливає на повноту оцінки за блоком В, а також звертає увагу на зниження рівня деталізації сучасного моніторингу за токсикологічними показниками. Порівняння результатів екологічного індексу за двома періодами здійснювалося враховуючи цю особливість, що відмічено у відповідних таблицях і висновках.

Отримана база даних є фундаментом для подальшого опрацювання, включаючи статистичні обробки, формування блокових індексів та екологічного оцінювання якості води.

Таблиця 3.1. Середні та найгірші значення показників якості води р. Дунай в межах України за 2010-2014 та 2021-2023 роки

№	Показник, одиниця виміру	2010-2014					2021-2023				
		Рені	Кілійське гирло	Ізмаїл	Кілія	Вилкове	Кілійське гирло	Ізмаїл	Кілія	Кислицький рукав	Ліски
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1.	pH	$\frac{8,35^*}{7,96^{**}}$	$\frac{8,45}{8,02}$	$\frac{8,45}{8,01}$	$\frac{8,6}{7,99}$	$\frac{8,3}{7,98}$	$\frac{8,40}{8,08}$	$\frac{8,35}{8,07}$	$\frac{8,40}{8,05}$	$\frac{8,25}{8,03}$	$\frac{8,30}{8,05}$
2.	Прозорість, м	$\frac{0,02}{0,1}$	$\frac{0,03}{0,1}$	$\frac{0,03}{0,1}$	$\frac{0,04}{0,1}$	$\frac{0,04}{0,1}$	$\frac{0,04}{0,1}$	$\frac{0,04}{0,1}$	$\frac{0,03}{0,1}$	$\frac{0,04}{0,1}$	$\frac{0,03}{0,1}$
3.	Завислі речовини, мг/дм ³	$\frac{381}{74,8}$	$\frac{215}{74,2}$	$\frac{213}{70,1}$	$\frac{379}{75,9}$	$\frac{749}{79,8}$					
4.	Азот амонійний, мг N/дм ³	$\frac{0,35}{0,1}$	$\frac{0,33}{0,09}$	$\frac{0,34}{0,1}$	$\frac{0,37}{0,1}$	$\frac{0,35}{0,12}$	$\frac{0,16}{0,1}$	$\frac{0,16}{0,1}$	$\frac{0,15}{0,1}$	$\frac{0,14}{0,1}$	$\frac{0,16}{0,1}$
5.	Азот нітритний, мг N/дм ³	$\frac{0,06}{0,02}$	$\frac{0,08}{0,02}$	$\frac{0,08}{0,03}$	$\frac{0,09}{0,03}$	$\frac{0,07}{0,03}$	$\frac{0,05}{0,02}$	$\frac{0,05}{0,02}$	$\frac{0,06}{0,02}$	$\frac{0,06}{0,02}$	$\frac{0,05}{0,02}$
6.	Азот нітратний, мг N/дм ³	$\frac{2,15}{1,14}$	$\frac{2,27}{1,21}$	$\frac{2,6}{1,26}$	$\frac{2,26}{1,09}$	$\frac{2,73}{1,24}$	$\frac{1,84}{1,17}$	$\frac{1,64}{1,21}$	$\frac{1,87}{1,19}$	$\frac{1,71}{1,17}$	$\frac{1,87}{1,19}$
7.	Залізо (загальне), мкг/дм ³	$\frac{132}{41}$	$\frac{213}{51}$			$\frac{126}{47}$					
8.	Хлор іон, мг/дм ³	$\frac{42,5}{32,5}$	$\frac{42,5}{32,4}$	$\frac{44,8}{32,6}$	$\frac{44,8}{32,5}$	$\frac{42,5}{32,8}$	$\frac{38,6}{32,3}$	$\frac{40,4}{32,2}$	$\frac{42,0}{31,6}$	$\frac{41,0}{29,7}$	$\frac{42,0}{31,5}$
9.	Сульфат іон, мг/дм ³	$\frac{66,8}{53,1}$	$\frac{66,8}{52,9}$	$\frac{66,8}{52,7}$	$\frac{66,8}{53,2}$	$\frac{66,8}{53,5}$	$\frac{43,7}{32,8}$	$\frac{43,4}{32,6}$	$\frac{50,0}{32,1}$	$\frac{43,4}{30,1}$	$\frac{48,0}{32,3}$

Продовження таблиці 3.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
10.	Сума іонів, мг/дм ³	$\frac{428}{376}$	$\frac{422}{377}$	$\frac{441}{374}$	$\frac{442}{376}$	$\frac{439}{375}$	$\frac{414}{336}$	$\frac{391}{334}$	$\frac{409}{333}$	$\frac{390}{325}$	$\frac{402}{334}$
11.	Біхроматна окисність, мгО/дм ³	$\frac{41,7}{19,4}$	$\frac{33,1}{16,2}$	$\frac{31,1}{16,2}$	$\frac{31}{16,1}$	$\frac{30,8}{15,2}$	$\frac{18,5}{12,8}$	$\frac{18,9}{12,9}$	$\frac{22,5}{12,5}$	$\frac{16,5}{12,8}$	$\frac{19,8}{13,4}$
12.	БСК5, мгО ₂ /дм ³	$\frac{4,1}{1,7}$	$\frac{3,8}{1,6}$	$\frac{18,2}{1,7}$	$\frac{5,2}{1,6}$	$\frac{4,1}{1,5}$	$\frac{4,6}{2,2}$	$\frac{6,0}{2,2}$	$\frac{5,1}{2,5}$	$\frac{5,1}{2,2}$	$\frac{6,2}{2,7}$
13.	Розчинений кисень, мгО ₂ /л	$\frac{6,1}{9,2}$	$\frac{5,2}{9,3}$	$\frac{5,9}{9,2}$	$\frac{5,1}{9,0}$	$\frac{3,8}{8,9}$	$\frac{3,3}{7,2}$	$\frac{5,8}{9,0}$	$\frac{6,0}{9,1}$	$\frac{6,0}{8,4}$	$\frac{6,1}{9,1}$
14.	% насичення киснем	$\frac{70}{89}$	$\frac{66}{89}$	$\frac{73}{89}$	$\frac{62}{88}$	$\frac{70}{88}$	$\frac{85}{85}$	$\frac{86}{87}$	$\frac{84}{86}$		$\frac{85}{86}$
15.	Цинк, мкг/дм ³	$\frac{109,2}{16,3}$	$\frac{88,2}{15,8}$			$\frac{84,9}{16,9}$					
16.	Мідь, мкг/дм ³	$\frac{81,9}{10,7}$	$\frac{70}{10,0}$			$\frac{67,1}{9,1}$					
17.	Хром, мкг/дм ³	$\frac{19}{7,8}$	$\frac{24}{7,3}$			$\frac{29}{7,4}$					
18.	Марганець, мкг/дм ³	$\frac{69,9}{16,9}$	$\frac{166,8}{20,7}$			$\frac{100}{19,6}$					

Продовження таблиці 3.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
19.	Фосфор фосфатів, мкг/дм ³	$\frac{0,112}{0,04}$	$\frac{0,089}{0,05}$	$\frac{0,085}{0,05}$	$\frac{0,262}{0,04}$	$\frac{0,071}{0,04}$					
20.	Феноли, мкг/дм ³	$\frac{5}{0,8}$	$\frac{5}{2}$	1 ***	$\frac{5}{1}$	$\frac{4}{1}$					
21.	Нафтопродукти, мкг/дм ³	$\frac{100}{2}$	$\frac{30}{30}$		$\frac{30}{2}$	$\frac{30}{0,3}$					
22.	СПАР, мкг/дм ³	$\frac{100}{9}$	$\frac{100}{10}$		$\frac{60}{8}$	$\frac{40}{7}$					

* - найгірші значення; ** - середні значення; ***- середні значення показників за рік.

3.2 . Оцінка екологічного стану

Оцінка екологічного стану поверхневих вод дельти р. Дунай була проведена виходячи з інтегрального екологічного індексу (I_E), розрахованого відповідно до трирівневої системи екологічної класифікації (клас – категорія – субкатегорія якості вод).

Екологічна оцінка якості води може бути як орієнтовною, так і ґрунтовною. Орієнтовна оцінка робиться для того, щоб сформувані загальні уявлення про об'єкт та зробити первинні висновки. Ґрунтовна оцінка необхідна для відповідальних, якісних рішень та формування переконливих висновків. Бажано, робити оцінку на основі аналізу трьох блоків (сольовий склад, трофо-сапробіологічні характеристики та вміст токсичних та радіаційних речовин). Неповна екологічна оцінка базується на показниках одного або двох блоків [50].

Для виявлення рівня антропогенного навантаження та просторо-часової динаміки якості води в українській частині р. Дунай нами було проведено комплексну екологічну оцінку, яка дозволяє проаналізувати зміни на різних ділянках річки. Аналіз охопив два часові періоди – 2010-2014 роки (контрольні пункти: м. Рені, м. Ізмаїл, м. Кілія, Кілійське гирло, м. Вилкове) та 2021-2023 роки (контрольні пункти: м. Ізмаїл, м. Кілія, Кілійське гирло, с. Ліски, Кислицький рукав). Для оцінювання використовували середні (відображають відносно стабільний стан води) та найгірші (фіксують максимальні відхилення під впливом природних та антропогенних факторів) значення показників водного середовища (табл. 3.1).

Згідно аналізу блоку сольового складу (I_1) за критеріями мінералізації вода протягом обох періодів відноситься до прісних гіпогалінних 1 категорії. Загальна мінералізація води коливалася від 325 до 442 мг/дм³, ці значення відповідають 1 категорії якості води. Вміст хлорид-іонів знаходився в діапазоні від 31,5 мг/дм³ (с. Ліски – 2021-2023 рр.) до 44,8 мг/дм³ (м. Ізмаїл та Кілія – 2010-2014 рр.) – 3 категорія якості води. Крім найліпшого значення – 29,7 мг/дм³ (Кислицький рукав – 2021-2023 рр.) – 2 категорія якості води.

Кількість сульфат-іонів варіювала у 2010-2014 рр. від 52,7 мг/дм³ (м. Ізмаїл) до 66,8 мг/дм³ (по усіх пунктах) – 2 категорія якості води; у 2021-2023 рр. від 30,1 мг/дм³ (Кислицький рукав) до 50,0 мг/дм³ (м. Кілія) – 1 категорія якості води. Показник усередненого блокового індексу (I_1) за середніми і найгіршими показниками у 2010-2014 рр. по усіх пунктах залишається 2,00 – вода відносилася до II класу якості, 2 категорії, 2 субкатегорії, що характеризує її як «дуже добрі», «чисті» води. У 2021-2023 рр. I_1 за середніми і найгіршими показниками став 1,67 – вода відносилася до II класу якості, 2 категорії, 1-2 субкатегорії, що характеризує її як води, перехідні за якістю від «відмінних», «дуже чистих» до «дуже добрих», «чистих». Виключенням є Кислицький рукав, де цей індекс по середньому значенню показників становить 1,33 – вода відносилася до I класу якості, 1 категорії, 1(2) субкатегорії – «відмінні», «дуже чисті» води з тенденцією наближення до «дуже добрих», «чистих» (табл.3.2).

Ступінь забрудненості води в річці Дунай в основному визначається в першу чергу значеннями блокових індексів 2 і 3 (I_2 , I_3), а конкретно величинами трофо-сапробіологічних показників та специфічних показників токсичної дії. Це свідчить про забруднення води важкими металами, органічними речовинами токсичної дії та біогенними речовинами разом з надмірною кількістю речовин органічного походження, що і визначають погіршення якості цього водотоку за показниками другого і третього блоків.

У 2010-2014 роках спостерігалось гірше становище за деякими параметрами (табл. 3.1). Прикладом є рівень завислих речовин, найгірший параметр досягнув 749 мг/дм³ у м. Вилкове, що значно вище за середній рівень 79,8 мг/дм³. У цей же період були зафіксовані підвищення за вмістом важких металів: у Кілійському гирлі – марганець 166,8 мкг/дм³ при середньому 20,7 мкг/дм³, у м. Рені - мідь до 81,9 мкг/дм³, цинк до 109,2 мкг/дм³, що може вказувати на епізодичні викиди від промислових об'єктів. Дуже високе значення БСК₅ (хімічного споживання кисню) у м. Ізмаїл – 18,2 мгО₂/дм³ при середньому 1,7 мгО₂/дм³ свідчило про можливе надходження органіки з побутових або аграрних джерел. Такі надходження сприяли зменшенню

розчиненого кисню (до $3,8 \text{ мгО}_2/\text{дм}^3$ у м. Вилкове). Як наслідок, загроза розвитку анаеробних умов і евтрофікації. Неефективне очищення стоків або змиви з удобрених полів міг стати причиною підвищення нітратного азоту у м. Вилкове – $2,73 \text{ мг N}/\text{дм}^3$ (середнє на цій території становить $1,24 \text{ мг}/\text{дм}^3$). Можна проаналізувати, що найбільш вразливими ділянками для разового забруднення на той період постають м. Ізмаїл, м. Вилкове та Кілійське гирло. У 2021-2023 якість води також залишалася просторово неоднорідною. Найвищі показники забруднення фіксувалися у Кілії та Лісках. Зокрема, у м. Кілія спостерігалася найвища біхроматна окисність – $22,5 \text{ мгО}/\text{дм}^3$ та висока концентрація сульфатів – $50,0 \text{ мг}/\text{дм}^3$. У с. Ліски БСК₅ досягав $6,2 \text{ мгО}_2/\text{дм}^3$ (максимальне значення серед пунктів). Але у порівнянні з 2010-2014 роками помітно покращення навіть і серед найгірших показників.

За трофо-сапробіологічним блоком вода в р. Дунай за рівнем трофності відноситься до мезотрофної та евтрофної, а за зоною сапробності – до β -мезосапробної та α -мезосапробної. Середні показники 2010-2014 рр. вказують, що вода, переважно, відносилася до II класу якості – «добрі», «досить чисті» води 3 категорії з варіаціями по субкатегоріях. Блоковий індекс (I_2) був однаковий $3,50$ у м. Рені, Ізмаїлі та Кілійському гирлі (виключення м. Вилкове – $3,30$), що відносило ці пункти до субкатегорії 3(4) - «добрі», «досить чисті» води з тенденцією наближення до «задовільних», «слабко забруднених». В той же час, у м. Кілія він становив $3,00$ – «добрі», «досить чисті» води, що вказує на менше антропогенне навантаження в порівнянні з іншими пунктами на той період. За найгіршими показниками блокових індексів за трофо-сапробіологічними показниками вода у м. Ізмаїл, Кілія, Вилкове ($I_2 = 5,40$ - $5,50$) відносилася до III класу, 5 категорії, переважно 5(6) субкатегорії – «посередні», «помірно забруднені води» води з тенденцією наближення до «поганих», «брудних». У м. Рені та Кілійському гирлі ($I_2 = 5,20$), що відносило воду до 5 субкатегорії – «посередні», «помірно забруднені води» (табл. 3.3).

У 2021-2023 рр. за блоковим індексом трофо-сапробіологічних (I_2) середніх показників (табл. 3.4) у м. Ізмаїл – $3,60$, Кілійському гирлі – $3,70$ та

Кислицькому рукаві – 3,56 вода відносилася до III класу якості, 4 категорії, 3-4 субкатегорії - води перехідні за якістю від «добрих», «досить чистих» до «задовільних», «слабко забруднених». Краща ситуація була у м. Кілія та с. Ліски, де індекси становили 3,50, що відносить воду до II класу якості, 3 категорії, 3(4) субкатегорії - «добрі», «досить чисті» води з тенденцією наближення до «задовільних», «слабко забруднених». За найгіршими значеннями блокових індексів за трофо-сапробіологічними показниками вода у пунктах Кілійське гирло та Кислицький рукав ($I_2 = 4,70-4,80$) відносилася до III класу, 5 категорії, 4-5 субкатегорії – води перехідні за якістю від «задовільних», «слабко забруднених» до «посередніх», «помірно забруднених». У м. Ізмаїл найгірше значення ($I_2 = 4,80$), що відносило воду до 5(4) субкатегорії – «посередні», «помірно забруднені» води з тенденцією наближення до «задовільних», «слабко забруднених». Найкращі значення I_2 у м. Кілія (4,50) та с. Ліски (4,30), де вода відносилася до III класу якості, 4 категорії, 4(5) субкатегорії – «задовільні», «слабко забруднені» води з тенденцією наближення до «посередніх», «помірно забруднених» (табл. 3.4).

За середніми значеннями блокових індексів специфічних показників токсичної дії (I_3) у 2010-2014 рр. вода відносилася до II класу якості води - «добрі», «досить чисті» з варіаціями по категоріях і субкатегоріях. Слід враховувати, що по м. Ізмаїл не було наявних даних за цими показниками. Найкращий показник індексу 2,00 був у м. Кілія – 2 категорія, 2 субкатегорія – «дуже добрі», «чисті» води. Далі йдуть м. Рені та Вилкове 2,50 – 2 категорія, 2(3) субкатегорія – «дуже добрі», «чисті» води з тенденцією наближення до «добрих», «досить чистих». Найгірше значення блокового індексу у Кілійському гирлі – 3 категорія, 3 субкатегорія – «добрі», «досить чисті» води. За найгіршими значеннями блокових індексів специфічних показників токсичної дії (I_3) вода відносилася до III класу якості, але відрізняючись категоріями та субкатегоріями. Найкращий показник ($I_3 = 4,50$) був у м. Кілія, що відносило воду до 4 категорії, 4(5) субкатегорії – «задовільні», «слабко забруднені» води з тенденцією наближення до «посередніх», «помірно

забруднених». Місто Вилкове, місто Рені та Кілійське гирло відносилися до 5 категорії, але до різних субкатегорій (м. Рені $I_3 = 5,38$ – 5(6) субкатегорія – «посередні», «помірно забруднені води» води з тенденцією наближення до «поганих», «брудних»; Вилкове та Кілійське гирло $I_3 = 5,13-5,25$ – 5 субкатегорія – «посередні», «помірно забруднені води» (табл. 3.5).

У 2021-2023 роках відсутній третій блок показників через недостачу даних у архіві, тому недоліком є можливе приховане забруднення специфічними токсичними речовинами, яке не дозволяє наразі дати остаточно повну оцінку.

За комплексною екологічною оцінкою якості води річки Дунай за середніми значеннями показників (I_{cp}) за всі періоди вода відповідала II класу якості, переважно, 3 категорії – води перехідні за якістю від «дуже добрих», «чистих» до «добрих», «досить чистих». У 2010-2014 роках найкращі середні показники зафіксовано в м. Кілія ($I_{cp} = 2,33$, категорія 2, субкатегорія 2(3)), де вода оцінюється як «дуже добра», «чиста» з тенденцією наближення до добрих. Дещо гірші значення м. Рені ($I_{cp} = 2,67$) та Вилковому ($I_{cp} = 2,60$), там води класифікуються як води перехідні за якістю від «дуже добрих», «чистих» до «добрих досить чистих». Найгірше значення у Кілійському гирлі ($I_{cp} = 2,88$) – «добрі», «досить чисті» води з ухилом до «дуже добрих», «дуже чистих» (табл. 3.6).

Можна помітити, що відбувається поступове покращення або стабілізація екологічного індексу за середніми значеннями (I_{cp}) на період 2021-2023 роки по спільним пунктам. Наприклад, у м. Ізмаїл I_{cp} покращився до 2,64 проти 2,75 у попередньому періоді; у м. Кілія навпаки видно невелике погіршення (2,59 проти 2,33), що віднесло воду з 2 категорії, 2(3) субкатегорії до 3 категорії, 2-3 субкатегорії (від «дуже добрих», «чистих» вод з тенденцією наближення до «добрих», «досить чистих» до вод, перехідних за якістю від «дуже добрих», «чистих» до «добрих», «досить чистих»); у Кілійському гирлі – 2,69 проти 2,88 (віднесло воду з 2-3 субкатегорії до 3(2) – «добрі», «досить чисті» води з ухилом до «дуже добрих», «чистих»). Найкращий усереднений

індекс (I_{cp}) за цей період 2,45 спостерігався у Кислицькому рукаві, що свідчить про менший антропогенний вплив саме на цю ділянку річки у порівнянні з іншими (табл. 3.6).

Зазвичай, при урахуванні водоохоронних заходів орієнтуються саме на найгірші (максимальні) значення показників, бо їх спеціальне зниження гарантує успіх в оздоровленні водного об'єкта. Відповідно до комплексної екологічної оцінки якості води за найгіршими значеннями у першому періоді (2010-2014 рр.) вода по усім пунктам належала до III класу, 4 категорії, переважно, 4 субкатегорії – «задовільні», «слабко забруднені» води. Винятком є м. Ізмаїл (через відсутність даних по третьому блоку специфічних показників токсичної дії (I_3)), там за підрахунками води відносяться до 3-4 субкатегорії - води, перехідні за якістю від «добрих», «досить чистих» до «задовільних», «слабко забруднених». Неповна екологічна оцінка у другому періоді (2021-2023 рр.) за найгіршими значеннями показала, що вода належала до II класу, 3 категорії, переважно, 3 субкатегорії – «добрі», «досить чисті» води. Винятком є с. Ліски де вода входить у субкатегорію 3(2) – «добрі», «досить чисті» води з ухилом до «дуже добрих», «чистих» (табл. 3.7).

Тенденція покращення вказує на зменшення інтенсивності впливу антропогенного навантаження на річку Дунай (навіть якщо відсутність даних третього блоку у другому періоді дещо обмежує глибину порівняння).

Таблиця 3.2. Екологічна оцінка якості води в р. Дунай в межах України за показниками сольового складу (I_1), 2010-2014 та 2021-2023 рр.

Пункти	Показники	Сума іонів	Хлориди	Сульфати	Екологічна оцінка якості води за показниками сольового складу			Клас якості	Словесна характеристика
		категорія			I_1	категорія	субкатегорія		
2010-2014 рр.									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Рені	С*	1	3	2	2,00	2	2	II	«Дуже добрі», «чисті» води
	Н**	1	3	2	2,00	2	2	II	«Дуже добрі», «чисті» води
Кілійське гирло	С	1	3	2	2,00	2	2	II	«Дуже добрі», «чисті» води
	Н	1	3	2	2,00	2	2	II	«Дуже добрі», «чисті» води
Ізмаїл	С	1	3	2	2,00	2	2	II	«Дуже добрі», «чисті» води
	Н	1	3	2	2,00	2	2	II	«Дуже добрі», «чисті» води
Кілія	С	1	3	2	2,00	2	2	II	«Дуже добрі», «чисті» води
	Н	1	3	2	2,00	2	2	II	«Дуже добрі», «чисті» води
Вилкове	С	1	3	2	2,00	2	2	II	«Дуже добрі», «чисті» води
	Н	1	3	2	2,00	2	2	II	«Дуже добрі», «чисті» води

Продовження таблиці 3.2

2021-2023 рр.									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Кілійське гирло	С	1	3	1	1,67	2	1-2	II	Води, перехідні за якістю від «відмінних», «дуже чистих» до «дуже добрих», «чистих»
	Н	1	3	1	1,67	2	1-2	II	Води, перехідні за якістю від «відмінних», «дуже чистих» до «дуже добрих», «чистих»
Ізмаїл	С	1	3	1	1,67	2	1-2	II	Води, перехідні за якістю від «відмінних», «дуже чистих» до «дуже добрих», «чистих»
	Н	1	3	1	1,67	2	1-2	II	Води, перехідні за якістю від «відмінних», «дуже чистих» до «дуже добрих», «чистих»
Кілія	С	1	3	1	1,67	2	1-2	II	Води, перехідні за якістю від «відмінних», «дуже чистих» до «дуже добрих», «чистих»
	Н	1	3	1	1,67	2	1-2	II	Води, перехідні за якістю від «відмінних», «дуже чистих» до «дуже добрих», «чистих»

Продовження таблиці 3.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Кислицький рукав	С	1	2	1	1,33	1	1(2)	I	«Відмінні», «дуже чисті» води з тенденцією наближення до «дуже добрих», «чистих»
	Н	1	3	1	1,67	2	1-2	II	Води, перехідні за якістю від «відмінних», «дуже чистих» до «дуже добрих», «чистих»
Ліски	С	1	3	1	1,67	2	1-2	II	Води, перехідні за якістю від «відмінних», «дуже чистих» до «дуже добрих», «чистих»
	Н	1	3	1	1,67	2	1-2	II	Води, перехідні за якістю від «відмінних», «дуже чистих» до «дуже добрих», «чистих»

С* - середні показники; Н* - найгірші показники

Таблиця 3.3. Екологічна оцінка якості води в р. Дунай в межах України за трофо-сапробіологічними (еколого-санітарними) показниками (I_2), 2010-2014 рр.

Пункти	Показники	рН	Завислі речовини	Азот амонійний	Азот нітритний	Азот нітратний	Фосфор фосфатів	Розчинений кисень	% насичення киснем	Біхроматна окисненість	БСК ₅	Екологічна оцінка якості води за трофо-сапробіологічними показниками			Клас якості	Словесна характеристика
												I_2	категорія	субкатегорія		
2010-2014 рр.																
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Рені	С*	3	6	2	5	6	3	1	3	3	3	3,50	3	3(4)	II	«Добрі», «досить чисті» води з тенденцією наближення до «задовільних», «слабко забруднених»
	Н**	4	7	4	6	6	5	4	6	5	5	5,20	5	5	III	«Посередні», «помірно забруднені води»

Продовження таблиці 3.3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Кілійське гирло	С	3	6	2	5	6	3	1	3	3	3	3,50	3	3(4)	II	«Добрі», «досить чисті» води з тенденцією наближення до «задовільних», «слабко забруднених»
	Н	5	7	4	6	6	4	5	5	5	5	5,20	5	5	III	«Посередні», «помірно забруднені води»
Ізмаїл	С	3	6	2	5	6	3	1	3	3	3	3,50	3	3(4)	II	«Добрі», «досить чисті» води з тенденцією наближення до «задовільних», «слабко забруднених»
	Н	5	7	4	6	7	4	5	4	5	7	5,40	5	5(6)	III	«Посередні», «помірно забруднені води» води з тенденцією наближення до «поганих», «брудних»

Продовження таблиці 3.3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Кілія	С	3	6	2	5	6	3	1	3	3	2	3,00	3	3	II	«Добрі», «досить чисті» води
	Н	6	7	4	6	6	6	5	5	5	5	5,50	5	5(6)	III	«Посередні», «помірно забруднені води» води з тенденцією наближення до «поганих», «брудних»
Вилкове	С	3	6	2	5	6	3	1	3	2	2	3,30	3	3(4)	II	«Добрі», «досить чисті» води з тенденцією наближення до «задовільних», «слабко забруднених»
	Н	4	7	4	6	7	4	7	5	5	5	5,40	5	5(6)	III	«Посередні», «помірно забруднені води» води з тенденцією наближення до «поганих», «брудних»

С* - середні показники; Н* - найгірші показники

Таблиця 3.4. Екологічна оцінка якості води в р. Дунай в межах України за трофо-сапробіологічними (еколого-санітарними) показниками (I_2), 2021-2023 рр.

Пункти	Показники	рН	% насичення киснем	Азот амонійний	Азот нітритний	Азот нітратний	Фосфор фосфатів	Розчинений кисень	Прозорість	Біхроматна окисненість	БСК ₅	Екологічна оцінка якості води за трофо-сапробіологічними показниками			Клас якості	Словесна характеристика
												I_2	категорія	субкатегорія		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Кілійське гирло	C*	3	3	2	4	6	3	3	7	2	4	3,70	4	3-4	III	Води перехідні за якістю від «добрих», «досить чистих» до «задовільних», «слабко забруднених»
	H**	5	3	2	5	6	4	7	7	3	5	4,70	5	4-5	III	Води перехідні за якістю від «задовільних», «слабко забруднених» до «посередніх», «помірно забруднених»

Продовження таблиці 3.4

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Ізмаїл	С	3	3	2	4	6	4	1	7	2	4	3,60	4	3-4	III	Води перехідні за якістю від «добрих», «досить чистих» до «задовільних», «слабко забруднених»
	Н	5	3	2	5	6	7	5	7	3	5	4,80	5	5(4)	III	«Посередні», «помірно забруднені» води з тенденцією наближення до «задовільних», «слабко забруднених»
Кілія	С	3	3	2	4	6	3	1	7	2	4	3,50	3	3(4)	II	«Добрі», «досить чисті» води з тенденцією наближення до «задовільних», «слабко забруднених»
	Н	5	3	2	5	6	4	5	7	3	5	4,50	4	4(5)	III	«Задовільні», «слабко забруднені» води з тенденцією наближення до «посередніх», «помірно забруднених»

Продовження таблиці 3.4

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Кислицький рукав	С	3	-	2	4	6	3	1	7	2	4	3,56	4	3-4	III	Води перехідні за якістю від «добрих», «досить чистих» до «задовільних», «слабко забруднених»
	Н	4	-	2	5	6	4	5	7	3	5	4,56	5	4-5	III	Води перехідні за якістю від «задовільних», «слабко забруднених» до «посередніх», «помірно забруднених»
Ліски	С	3	3	2	4	6	3	1	7	2	4	3,50	3	3(4)	II	«Добрі», «досить чисті» води з тенденцією наближення до «задовільних», «слабко забруднених»
	Н	4	3	2	5	6	4	4	7	3	5	4,30	4	4(5)	III	«Задовільні», «слабко забруднені» води з тенденцією наближення до «посередніх», «помірно забруднених»

С* - середні показники; Н* - найгірші показники

Таблиця 3.5. Екологічна оцінка якості води в р. Дунай межах України за специфічними показниками токсичної дії (I₃), 2010-2014 рр.

Пункти	Показники	Залізо	Цинк	Хром	Мідь	Марганець	Феноли	Нафтопродукти	СПАР	Екологічна оцінка якості води за специфічними показниками токсичної дії			Клас якості	Словесна характеристика
		категорія								I ₃	категорія	субкатегорія		
2010-2014 рр.														
1	2	3	4	5	6	7	9	10	11	12	13	14	15	16
Рені	C*	1	3	4	5	2	2	1	2	2,50	2	2(3)	II	«Дуже добрі», «чисті» води з тенденцією наближення до «добрих», «досить чистих»
	H**	7	6	5	7	4	5	4	5	5,38	5	5(6)	III	«Посередні», «помірно забруднені води» води з тенденцією наближення до «поганих», «брудних»

Продовження таблиці 3.5

1	2	3	4	5	6	7	9	10	11	12	13	14	15	16
Кілійське гірло	С	2	3	4	4	2	4	3	3	3,13	3	3	II	«Добрі», «досить чисті» води
	Н	7	5	5	7	5	5	3	5	5,25	5	5	III	«Посередні», «помірно забруднені води»
Ізмаїл	С	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Н	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Кілія	С	-	-	-	-	-	3	1	2	2,00	2	2	II	«Дуже добрі», «чисті» води
	Н	-	-	5	-	-	5	3	5	4,50	4	4(5)	III	«Задовільні», «слабко забруднені» води з тенденцією наближення до «посередніх», «помірно забруднених»
Вилкове	С	1	3	4	4	2	3	1	2	2,50	2	2(3)	II	«Дуже добрі», «чисті» води з тенденцією наближення до «добрих», «досить чистих»
	Н	7	5	6	7	4	5	3	4	5,13	5	5	III	«Посередні», «помірно забруднені води»

С* - середні показники; Н* - найгірші показники

Таблиця 3.6. Комплексна екологічна оцінка якості води р. Дунай в межах України
за середніми значеннями, 2010-2014 та 2021-2023 рр.

Пункти відбору зразків	I ₁	I ₂	I ₃	I _{ср}	Категорія	Субкатегорія	Клас якості	Словесна характеристика
1	2	3	4	5	6	7	8	9
2010-2014 роки								
м. Рені	2,00	3,50	2,50	2,67	3	2-3	II	води, перехідні за якістю від «дуже добрих», «чистих» до «добрих», «досить чистих»
Кілійське гирло	2,00	3,50	3,13	2,88	3	3(2)	II	«добрі», «досить чисті» води з ухилом до «дуже добрих», «чистих»
м. Ізмаїл	2,00	3,50	-	2,75	3	2-3	II	води, перехідні за якістю від «дуже добрих», «чистих» до «добрих», «досить чистих»
м. Кілія	2,00	3,00	2,00	2,33	2	2(3)	II	«дуже добрі», «чисті» води з тенденцією наближення до категорії «добрих», «досить чистих»
м. Вилкове	2,00	3,30	2,50	2,60	3	2-3	II	води, перехідні за якістю від «дуже добрих», «чистих» до «добрих», «досить чистих»
2021-2023 роки								
Кілійське гирло	1,67	3,70	-	2,69	3	2-3	II	води, перехідні за якістю від «дуже добрих», «чистих» до «добрих», «досить чистих»

Продовження таблиці 3.6

м. Ізмаїл	1,67	3,60	-	2,64	3	2-3	II	води, перехідні за якістю від «дуже добрих», «чистих» до «добрих», «досить чистих»
м. Кілія	1,67	3,50	-	2,59	3	2-3	II	води, перехідні за якістю від «дуже добрих», «чистих» до «добрих», «досить чистих»
Кислицький рукав	1,33	3,56	-	2,45	2	2(3)	II	«дуже добрі», «чисті» води з тенденцією наближення до категорії «добрих», «досить чистих»
с. Ліски	1,67	3,50	-	2,59	3	2-3	II	води, перехідні за якістю від «дуже добрих», «чистих» до «добрих», «досить чистих»

Таблиця 3.7. Комплексна екологічна оцінка якості води в р. Дунай в межах України за найгіршими значеннями, 2010-2014 та 2021-2023 рр.

Пункти відбору зразків	I ₁	I ₂	I ₃	I _{ср}	Категорія	Субкатегорія	Клас якості	Словесна характеристика
1	2	3	4	5	6	7	8	9
2010-2014 роки								
м. Рені	2,00	5,20	5,38	4,19	4	4	III	«задовільні», «слабко забруднені» води
Кілійське гирло	2,00	5,20	5,25	4,15	4	4	III	«задовільні», «слабко забруднені» води
м. Ізмаїл	2,00	5,40	-	3,70	4	3-4	III	води, перехідні за якістю від «добрих», «досить чистих» до «задовільних», «слабко забруднених»
м. Кілія	2,00	5,50	4,50	4,00	4	4	III	«задовільні», «слабко забруднені» води
м. Вилкове	2,00	5,40	5,13	4,18	4	4	III	«задовільні», «слабко забруднені» води
2021-2023 роки								
Кілійське гирло	1,67	4,70	-	3,19	3	3	II	«добрі», «досить чисті» води

Продовження таблиці 3.7

1	2	3	4	5	6	7	8	9
м. Ізмаїл	1,67	4,80	-	3,24	3	3	II	«добрі», «досить чисті» води
м. Кілія	1,67	4,50	-	3,09	3	3	II	«добрі», «досить чисті» води
Кислицький рукав	1,67	4,56	-	3,12	3	3	II	«добрі», «досить чисті» води
с. Ліски	1,67	4,30	-	2,99	3	3(2)	II	«добрі», «досить чисті» води з ухилом до «дуже добрих», «чистих»

ВИСНОВОК

У ході дослідження нами здійснено комплексну екологічну оцінку якості води української частини р. Дунай за двома періодами (2010-2014 та 2021-2023 роки) – з урахуванням просторово-часової динаміки.

1. На основі аналізу комплексного екологічного індексу (I_{cp}), розрахованого за середніми значеннями індексів сольового складу (I_1), трофо-сапробіологічних показників (I_2) та специфічних токсичних речовин (I_3), встановлено, що протягом обох періодів в усіх пунктах вода річки Дунай відповідала переважно II класу якості, 3 категорії, що характеризуються як води, перехідні за якістю від «дуже добрих», «чистих» до «добрих», «досить чистих».

2. За середніми значеннями у період 2010–2014 рр. найвищий рівень антропогенного навантаження за комплексною екологічною оцінкою I_{cp} спостерігався у Кілійському гирлі (2,88), м. Ізмаїл (2,75) та м. Рені (2,67), що відповідає категорії «добрі» – «досить чисті» води із тенденцією до зниження якості. Найкращі умови були у м. Кілія (2,33), що характеризується «дуже добрими» водами, ближчими до категорії «добрих».

3. У період 2021–2023 рр. середні показники I_{cp} незначно покращилися або залишилися на рівні 2,45–2,69 по всіх контрольних точках. Найкращими за якістю фіксувалися води Кислицького рукава (2,45), що свідчить про «дуже добрі», «чисті» води з тенденцією до поліпшення, а найвищі значення за інтегрованим показником фіксувалися у Кілійському гирлі (2,69).

4. За найгіршими значеннями у період 2010–2014 рр. спостерігалось значне погіршення якості води, особливо у показниках I_2 та I_3 , які досягали 5,25–5,50, що переводить воду у категорію III класу якості – «задовільні», «слабко забруднені» води. Найгіршими точками були м. Кілія ($I_{cp} = 4,00$), м. Вилкове (4,18) та м. Рені (4,19).

5. У період 2021–2023 рр. найгірші показники покращились – I_{cp} не перевищував 3,24 (м. Ізмаїл), що дозволило віднести воду до II класу якості – «добрі», «досить чисті» води. Зменшення навантаження, особливо за індексами I_2 , свідчить про покращення екологічного стану, можливо, завдяки зниженню антропогенного впливу чи впровадженню кращих екологічних заходів.

6. Таким чином, порівняння двох періодів показує, що загальна якість води в річці Дунай у межах України має тенденцію до покращення, особливо помітне за найгіршими значеннями показників. Середні значення залишаються стабільними з незначними коливаннями, що вказує на підтримку якості на рівні «добрих» і «досить чистих» вод. Найбільше навантаження та найнижчі показники якості води в обох періодах традиційно фіксуються у містах Ізмаїл, Кілія та Вилкове, а також у Кілійському гирлі, що пов'язано з інтенсивним судноплавством, господарською діяльністю та скидами забруднень. Найкращий стан води спостерігається у відгалуженнях річки, таких як Кислицький рукав та менш урбанізованих ділянках, як с. Ліски.

7. Для забезпечування стабільного покращення якості води у межах української частини річки Дунай необхідно продовжувати системний моніторинг, посилити водоохоронні заходи в найбільш потребуючих районах, посилити контроль за скидами (промисловими та сільськогосподарськими) та підвищувати екологічну свідомість місцевих громад.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Варламов Є. М. Квасов В. А. Брук В. В. Моніторинг навколишнього природного середовища. Концептуальні засади та шляхи реалізації. Монографія. Харків. 2016. 166 с.
2. Васенко А. Г. Брук В. В. Свиридов Ю. В. Геоінформаційна система для аналізу даних екологічного моніторингу української частини дельти Дунаю. *Science Review*. 2019. № 4(21). С. 20–24. URL: https://doi.org/10.31435/rsglobal_sr (дата звернення: 28.03.2025).
3. Васенко А. Г. Брук В. В. Свиридов Ю. В. Геоінформаційна система для аналізу даних екологічного моніторингу української частини дельти Дунаю. *Science Review*. 2019. № 4(21). С. 20–24. URL: https://doi.org/10.31435/rsglobal_sr (дата звернення: 28.03.2025).
4. Васенко А. Г. Брук В. В. Свиридов Ю. В. Миланіч А. Ю. Прогнозування зміни альгологічних показників української частини дельти Дунаю. *Екологічна безпека. Проблеми і шляхи вирішення. Матеріали конференції*. Харків. 2020. С. 69–75.
5. Васенко А. Г. Цитлишвілі Е. А. Свиридов Ю. В. Брук В. В. Оцінка впливу точкових джерел забруднення на якість води української частини дельти Дунаю. *Вісник Хмельницького національного університету*. 2020. № 1(281). С. 57–62.
6. Васенко О. Г. Брук В. В. Карлюк А. А. Свиридов Ю. В. Прогнозування якості води в річках Дунай та Сіверський Донець за допомогою геоінформаційних технологій. *World Science*. 2019. № 11(51). С. 45–49. URL: https://doi.org/10.31435/rsglobal_ws/30112019/6766 (дата звернення: 28.03.2025).
7. Васенко О. Г. Брук В. В. Свиридов Ю. В. Геоінформаційна модель якості води в системі екологічного моніторингу дельти Дунаю. *Екологічна безпека. Проблеми і шляхи вирішення*. Харків. 2020. С. 36–40.

8. Васенко О. Г. Ієвлєва О. Ю. Карлюк А. А. Божко Т. В. Свиридов Ю. В. Вплив на довкілля будівництва огорожувальної дамби морського підхідного каналу ГСХ Дунай-Чорне море. Екологічна безпека. Проблеми і шляхи вирішення. Матеріали конференції. Харків. 2019. С. 68–71.

9. Васенко О. Г. Міланіч Г. Ю. Свиридов Ю. В. Формування бази даних для використання при попередженні та ліквідації надзвичайних екологічних ситуацій. Проблеми техногенно-екологічної безпеки. Освіта. Наука. Практика. Харків. 2016. С. 135–137.

10. Васенко О. Г. Міланіч Г. Ю. Свиридов Ю. В. Формування бази даних для використання при попередженні та ліквідації надзвичайних екологічних ситуацій. Проблеми техногенно-екологічної безпеки. Освіта наука практика. Матеріали конференції. Харків. 2016. С. 135–137.

11. Васенко О. Г. Юрченко Л. Л. Дослідження впливу змін гідрологічного режиму на гідрохімічні показники поверхневих вод дельти Дунаю. Проблеми охорони навколишнього природного середовища та екологічної безпеки. Харків. 2016. Вип. XXXVIII. С. 89–98.

12. Довідка для ознайомлення з ситуацією на озері Сасик. Одеська національна наукова бібліотека. 2023. URL: https://odnb.odessa.ua/img/novini_2021/3194/sas01.pdf (дата звернення: 28.03.2025).

13. Екологічний паспорт. Вінницька область за 2019 рік. 116 с. URL: <http://www.vin.gov.ua/upr-ter/stan-dovkillia/239-ekolohichnipasporty/29108-ekolohichni-pasport-oblasti-za-2019> (дата звернення: 28.03.2025).

14. Зведений заключний звіт про науково-дослідну роботу. Комплексний екологічний моніторинг довкілля під час експлуатації глибоководного суднового ходу р. Дунай-Чорне море у 2016–2017 роках. Район Морського підхідного каналу. Харків. 2017. 250 с.

15. Зведений заключний звіт про науково-дослідну роботу. Комплексний екологічний моніторинг довкілля під час експлуатації глибоководного суднового ходу р. Дунай-Чорне море у 2015 році. Район

Морського підхідного каналу з розробкою проєкту виконання експлуатаційного днопоглиблення. Харків. 2016. 266 с.

16. Інтерактивна карта забруднення поверхневих вод Львівщини. URL: <http://molodyvcheny.in.ua/files/journal/2020/2/44.pdf> (дата звернення: 28.03.2025).

17. Інтерактивна карта забрудненості річок в Україні на основі даних Державного агентства водних ресурсів. URL: <https://texty.org.ua> (дата звернення: 28.03.2025).

18. Інформація про р. Сарата. 2024. URL: [https://uk.wikipedia.org/wiki/Сарата_\(річка\)](https://uk.wikipedia.org/wiki/Сарата_(річка)) (дата звернення: 28.03.2025).

19. Катинська І. В. Assessment of river water inflow into the Sasyk estuary-reservoir according to RCP4.5 and RCP8.5 climate change scenarios for 2021–2050. Геологія географія геоecологія. 2021. № 30(2). С. 315–325. URL: <https://doi.org/10.15421/112128> (дата звернення: 28.03.2025).

20. Лозовіцький П. С. Оцінювання якості води р. Сарата. Вісник Одеського національного університету. Географічні та геологічні науки. 2023. 27(2(41)). С. 28–44. URL: [https://doi.org/10.18524/2303-9914.2022.2\(41\).268698](https://doi.org/10.18524/2303-9914.2022.2(41).268698) (дата звернення: 28.03.2025).

21. Ляшенко Г. В. Прикуп Л. О. Оцінка якості ґрунтів за реакцією ґрунтового розчину та вмістом важких металів на півдні Одеської області. Український гідрометеорологічний журнал. 2016. № 17. С. 17–22. URL: <http://eprints.library.odeku.edu.ua/id/eprint/2002> (дата звернення: 28.03.2025).

22. Методика віднесення масиву поверхневих вод до одного з класів екологічного та хімічного станів. Затверджена Наказом Міністерства екології та природних ресурсів України № 5 від 14.01.2019. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0127-19#Text> (дата звернення: 28.03.2025).

23. План управління річковим басейном Причорномор'я. Басейнове управління водних ресурсів річок Причорномор'я. Державне агенство водних ресурсів України. 2023. URL: <https://oouvr.gov.ua/plan-uprrichkovum-baseynom/> (дата звернення: 28.03.2025).

24. Плани управління річковими басейнами. Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України. 2023. URL: <https://mepr.gov.ua/diyalnist/napryamky/stale-upravlinnya-vodnymu-resursamy/plany-upravlinnya-richkovymu-basejnamy/> (дата звернення: 28.03.2025).
25. Регіональна доповідь про стан навколишнього природного середовища в Одеській області у 2021 році. Одеська обласна державна адміністрація. Департамент екології та природних ресурсів. Одеса. 2022. 214 с. URL: <https://mepr.gov.ua/wp-content/uploads/2022/10/Regionalna-dopovid-OdeskaODA-2021.pdf> (дата звернення: 28.03.2025).
26. Річки Когильник Кагач та Сарата відтепер вільні та природні. Rewilding Danube Delta. 2023. URL: <https://rewilding-danube-delta.com/uk/news/dam-removal-on-kogilnik> (дата звернення: 28.03.2025).
27. Хільчевський В. К. Осадчий В. І. Курило С. М. Регіональна гідрохімія України. Підручник. Київ. 2019. 343 с.
28. API Reference for the ArcGIS API for Python. URL: <https://developers.arcgis.com/python/api-reference> (дата звернення: 28.03.2025).
29. Danube River Basin Geographic Information System. URL: <https://www.danubegis.org> (дата звернення: 28.03.2025).
30. Faramarzi M. Abbaspour K. Schulin R. Yang H. Modeling blue and green water resources availability in Iran. Hydrological Processes. Vol. 23. P. 486–501.
31. Mapping and visualization in ArcGIS Pro. URL: <https://www.esri.com/en-us/arcgis/products/arcgis-pro/resources> (дата звернення: 28.03.2025).
32. Soil and Water Assessment Tool Model. A Systemic Review. URL: https://www.researchgate.net/publication/336043730_Soil_and_Water_Assessment_Tool_SWAT_Model_A_Systemic_Review (дата звернення: 28.03.2025).
33. Swat System. URL: <https://swat.tamu.edu/software/arcsbat> (дата звернення: 28.03.2025).

34. Utkina K. Kresin V. Brook V. Lisnyak A. Integrated criteria for ranking Black Sea land-based point pollution sources. *Folia geographica*. 2017. Vol. 59. № 2. P. 35–49.
35. Vasenko A. Brook V. Svyrydov Yu. Milanich H. GIS-assisted revealing of spatio-temporal dynamics in phycological indices of the Dunable river delta. *Eastern European Journal of Enterprise Technologies*. 2020. № 6/10(108). С. 6–13. URL: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2020.219556> (дата звернення: 28.03.2025).
36. Birk S., Willby N., Carr G., Brucet S., Dunbar M.J., Giełczewski M., Poikane S. Widespread disruption in ecological functioning of European rivers due to fine sediment. *Science of The Total Environment*. 2021. Vol. 767. P. 144416.
37. Boros G., Kiss T., Molnár B., Sümegi P. Long-term environmental and ecological changes in the Danube River floodplains. *Science of The Total Environment*. 2022. Vol. 825. P. 153875.
38. Cvijanović G., Veličković N., Vuković G., Kostić M., Radovanović T. Assessment of water quality and pollution sources in the Danube River Basin using multivariate statistical techniques. *Journal of Environmental Management*. 2020. Vol. 255. P. 109860.
39. Dörflinger G., Kirschner A., Schütz S., Usbeck R., Zwickl R. Hydrochemical characteristics of the Danube River and its tributaries: Implications for water quality assessment. *Science of The Total Environment*. 2023. Vol. 857. P. 159390.
40. Fabregat C., Villeneuve A., Barraud S., Amouroux D., Veyssy J., Duprat P. Organic micropollutants in the Danube River: Seasonal variations and ecological risk assessment. *Environmental Pollution*. 2021. Vol. 269. P. 116152.
41. Fuchs E., Steiner M., Lorenz M., Wieser M., Hein T., Schmutz S. Long-term ecological monitoring of fish and macroinvertebrates in the Danube River. *Ecological Indicators*. 2022. Vol. 135. P. 108565.

42. Jevtić M., Škorić S., Jovanović M., Jović M. Monitoring heavy metals in sediments of the Danube River: Recent trends and ecological risk. *Environmental Science and Pollution Research*. 2021. Vol. 28, No. 32. P. 43547–43561.
43. Kirschner A., Urbanič G., Miko M., Waringer J., Schmutz S. Recent advances in biological assessment of the Danube River: Progress toward achieving the Water Framework Directive objectives. *Hydrobiologia*. 2023. Vol. 850. P. 1–23.
44. Kozak A., Wójcik M., Guzik M., Stępnik K. Application of remote sensing data in assessing the ecological status of the Danube River. *Remote Sensing*. 2020. Vol. 12, No. 16. P. 2615.
45. Liska I., Nemethova D., Skalova M., Grygar T. Impacts of land use on surface water quality in the Danube River Basin. *Science of The Total Environment*. 2022. Vol. 812. P. 152446.
46. Pirotti F., Lingua E., Piermattei A., Morabito D., Vettore A. Integration of GIS and water quality monitoring for the Danube River Basin management. *Environmental Monitoring and Assessment*. 2023. Vol. 195. P. 214.
47. Slobodnik J., Fick J., Klánová J., Götz R., Kučera O., Nezval J., Orosova O., Ristovska M., Številova N., Zlabek V. Emerging contaminants and their environmental risk in the Danube River Basin. *Environmental Science and Pollution Research*. 2020. Vol. 27. P. 46490–46503.
48. Yüksel Ş., Akbaş H., Güler C., Altuner E.M. Evaluation of surface water quality in the Danube River using multivariate statistical analysis and water quality index. *Environmental Monitoring and Assessment*. 2022. Vol. 194. P. 88.
49. Свиридов Ю.В. Комплексна оцінка та прогнозування якості води української частини річки Дунай із використанням геоінформаційної технології: дис. ... д-ра філософії : Одеський державний екологічний університет.- Одеса, 2021. с. 140
50. Щорічні дані про якість поверхневих вод суші за 2010-2014, 2021-2023 рр. Державний водний кадастр. Серія 2. Поверхневі води. Київ: ЦГО, 2011-2015; 2022-2024. Архівні дані.

51. Юрасов С. М., Кур'янова І. В. Комплексна оцінка якості вод за різними методиками та шляхи її вдосконалення. Український гідрометеорологічний журнал. 2009. №5. с. 42-53

52. Досвід використання «Методики екологічної якості поверхневих вод за відповідними категоріями» (пояснення, застереження, приклади) / А.В. Яцик, В.М. Жукинський, А.П. Чернявська, І.С. Єзловецька. К.: Оріяни, 2006. 44 с.

53. Про затвердження Порядку здійснення державного моніторингу вод : Постанова Кабінету України від 19 вересня 2018 р. № 758. Офіційний вісник України. 2018. № 78. С. 12-15. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/758-2018-%D0%BF#Text> (дата звернення: 24.05.2025)

54. Методичні вказівки до лабораторної роботи «Екологічна оцінка якості вод» з дисципліни «Екологія» для студентів усіх спеціальностей денної та заочної форми навчання. уклад. Л. А. Васьковець, В. В. Березуцький. Харків : НТУ «ХПІ», 2020. 41 с.