

Екологічна оцінка якості поверхневих вод річки Західний Буг у межах прикордоння України та Польщі

Іван Ковальчук¹

д. геогр. н., професор, зав. кафедри геодезії та картографії,

¹ Національний університет біоресурсів і природокористування України, Київ, Україна,

e-mail: kovalchukip@nubip.edu.ua,  <https://orcid.org/0000-0002-2164-1259>;

Ольга Караїм²

к. екон. н., доцент, кафедра екології та охорони навколишнього середовища,

² Волинський національний університет імені Лесі Українки, Луцьк, Україна,

e-mail: olha.karaim@vnu.edu.ua,  <https://orcid.org/0000-0002-1722-4110>;

Олена Джам²

к. хім. н., доцент, кафедра екології та охорони навколишнього середовища,

e-mail: dzham.olena@vnu.edu.ua,  <https://orcid.org/0000-0003-2222-3734>;

Зоряна Лавринюк²

к. хім. н., доцент, кафедра екології та охорони навколишнього середовища,

e-mail: lavrynyuk.zoryana@vnu.edu.ua,  <https://orcid.org/0000-0002-1906-3330>;

Володимир Караїм²

здобувач ступеня доктора філософії,

e-mail: karaim.volodymyr@vnu.edu.ua,  <https://orcid.org/0000-0003-4053-8019>

Екологічні проблеми не обмежуються державними кордонами, це стосується, зокрема, транскордонних річок. Внаслідок інтенсивного антропогенного впливу на поверхневі води зазнає змін їх якісний стан, що в свою чергу потребує вирішення як на національному, так і на міжнародному рівнях. Метою дослідження є здійснення екологічної оцінки якості поверхневих вод річки Західний Буг у межах прикордоння України та Польщі. У дослідженні використовувалися методи: узагальнення та систематизації, аналізу та синтезу, порівняльний, абстрактно-логічний, послідовний. Здійснено аналіз вмісту основних забруднюючих речовин у трьох пунктах спостереження транскордонної ділянки р. Західний Буг (1 – с. Забужжя, 2 – м. Устилуг, 3 – с. Амбуків) упродовж 2021–2023 рр. Визначено, що концентрація більшості забруднюючих речовин у поверхневих водах знаходилася в межах норми. Окремі перевищення показників стосувалися завислих речовин та фосфатів. На початку досліджуваного періоду зафіксовано перевищення ГДК амонію. Вміст нітритів характеризується допустимими значеннями. Щодо стосується забруднення компонентами сольового складу, то з березня 2021 р. й до лютого 2022 р. поверхневі води річки біля с. Забужжя мали клас та категорію якості за станом – «задовільні», за ступенем чистоти – «чисті» та «досить чисті». Далі до вересня 2023 р. їх стан покращився до рівня «добрі» у всіх категоріях. У с. Амбуків та в м. Устилуг клас якості води за станом визначено як «добрі», категорія якості – відповідно «добрі» та «дуже добрі», за ступенем чистоти – «чисті» та «досить чисті». За індексом трофо-сапробіологічних показників у всіх створах клас і категорія якості за станом оцінено як «задовільні», за ступенем чистоти – «забруднені» та «слабко забруднені». Щодо індексу специфічних показників токсичної дії – спостерігаємо високий рівень якості: клас за станом – «добрі», категорія – «дуже добрі», за ступенем чистоти – «чисті». Розрахований комплексний екологічний показник свідчить, що поверхневі води р. Західний Буг впродовж 2021–2023 рр. мають клас якості – «добрі», категорію якості – «добрі»; клас якості за ступенем чистоти – «чисті», категорія якості за ступенем чистоти – «досить чисті». Основна причина цього стану – зниження антропогенного навантаження на річку та її басейн. Дослідження показало, що стан поверхневих вод р. Західний Буг упродовж 2021–2023 рр. у більшості випадків відповідає нормативним показникам якості. За комплексним екологічним індексом води у трьох створах характеризуються як «добрі» та «чисті».

Ключові слова: транскордонна річка, Західний Буг, поверхневі води, оцінка якості води, моніторинг, екологічний контроль, екологічний стан, забруднюючі речовини, управління водними ресурсами.

Як цитувати: Ковальчук Іван, Караїм Ольга, Джам Олена, Лавринюк Зоряна, Караїм Володимир (2025). Екологічна оцінка якості поверхневих вод річки Західний Буг у межах прикордоння України та Польщі. Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна. Серія «Геологія. Географія. Екологія», (62), 424–436. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2025-62-32>

In cites: Kovalchuk Ivan, Karaim Olha, Dzhama Olena, Lavrynyuk Zoryana, Karaim Volodymyr (2025). Ecological Assessment of Surface Water Quality of the Western Bug River in the Border Region of Ukraine and Poland. Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University. Series Geology. Geography. Ecology, (62), 424–436. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2025-62-32> [in Ukrainian]

Вступ. Екологічні проблеми, які виникають на прикордонних територіях внаслідок забруднення водних об'єктів, є однією із ключових екологічних загроз сучасності. Інтенсивна сільськогосподарська діяльність, урбанізація, промислове забруднення та недостатньо ефективна система очищення стічних вод у прикордонних регіонах

можуть сприяти деградації водних екосистем.

Вирішення цього питання є важливим як на національному рівні, так і на міжнародному, оскільки стосується узгодження інтересів суміжних країн, адже транскордонні водотоки потребують спільного моніторингу водних об'єктів і координації управлінських водоохоронних рішень. Сві-

товий досвід, зокрема рекомендації Європейської економічної комісії ООН, підкреслюють важливість впровадження комплексних підходів до управління водними ресурсами. Рамкова водна директива Європейського Союзу визначає необхідність досягнення «доброго екологічного стану» поверхневих вод та координації дій між країнами [16]. Дослідження стану річки Західний Буг є актуальним як для України, так і для сусідніх держав, зокрема Республіки Польща, оскільки води річки є важливим природним ресурсом для населення цих країн. Через ці обставини актуальність теми дослідження зумовлена необхідністю визначення показників якісного стану поверхневих вод з метою зниження ризиків екологічних катастроф, покращення управління водними ресурсами, а також забезпечення сталого розвитку водного господарства прикордонних територій.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Екологічні аспекти якості поверхневих вод активно досліджуються як вітчизняними, так і зарубіжними науковцями. Так, комплексний екологічний та гідрохімічний аналіз стану річок природного заповідника «Древлянський» з метою оптимізації природоохоронних заходів, моніторингу й оцінювання екобезпеки здійснено Коніщуком В., Шумигай І., Мартиненко В. [4]. Особливості забруднення річок басейну Дону біогенними компонентами досліджено Ухань О., Осадчою Н. [12]. Екологічний стан русла р. Прип'ять за макрофітовим індексом визначено Некос А., Боярин М., Цьось О., Нетробчук І., Волошиним В. [7]. Оцінку екологічного стану води рекреаційних озер Волині проведено Фесюком В., Ільїним Л., Мороз І., Ільїною О. [13]. Оцінку якості поверхневих вод р. Західний Буг щодо вмісту сполук нітрогену здійснили Лисиця А., Лико Д., Портухай О., Логвиненко І., Лико С. [5]. Забруднення поверхневих вод р. Західний Буг на транскордонній ділянці України у 2014–2018 роках оцінили Гопчак І., Калько А., Басюк Т., Пінчук О., Герасимов І., Яроменко О., Шкіринець В. [17]. Моніторинг якості поверхневих вод басейну р. Західний Буг у межах Львівської області виконали Одноріг З., Манько Р., Мальований М., Соловій К. [19]. Висвітленню екологічного стану річкових басейнів Західного Полісся України присвячена праця Басюк Т., Гопчака І., Яцика А. [14]. Гідроекологічний моніторинг забруднення важкими металами водою басейну р. Західний Буг в межах гірничопромислового району здійснили Попович В., Скробала В., Тиндик О., Каспрук О. [20].

Теоретичні та практичні аспекти управління транскордонними водними ресурсами басейну р. Західний Буг розкрито Павліхою Н., Яков'юком В., Цимбалюк І. [8]. Особливості водогосподарського та водоохоронного управління на прикладі

басейну р. Західний Буг висвітлено Ковальчуком І. [3]. Результати досліджень якості поверхневих вод малих річок, а також оцінку антропогенного впливу на них в аспекті екологічного управління представлено Караїм О., Бедунковою О., Лавринюк З., Джам О. [2].

Значний внесок у дослідження екологічного стану водних об'єктів зроблено закордонними науковцями, зокрема просторово-часові зміни забруднення води, їх джерела та наслідки для р. Буг у Республіці Польща досліджено Grzywna A., Bronowicka-Mielniczuk U., Połec K. [18]. Оцінку якості поверхневих вод р. Південний Буг за комплексними показниками досліджено Shakhman I., Bystriantseva A. [21]. Наявність забруднюючих речовин, у пробах води з нижньої частини басейну р. Дунай дослідили Đurišić-Mladenović, N., Živančev, J., Antić, I., Rakić, D., Buljović, M., Pajin, B., Llorca, M., & Farre, M. [15].

Виконаний стислий огляд напрямів і результатів досліджень екологічного стану поверхневих вод річок свідчить про важливість цієї проблеми, особливо у зв'язку зі змінами клімату, зростанням дефіциту водних ресурсів і погіршенням їх якості.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми. Попри наявність досліджень екологічного стану річок в різних регіонах, залишаються аспекти, які потребують подальшого вивчення. Зокрема, недостатньо висвітлено динаміку змін вмісту основних забруднюючих речовин у поверхневих водах транскордонної ділянки річки Західний Буг з урахуванням сезонних коливань стоку під впливом змін клімату та антропогенного навантаження. Потребують розвитку підходи до оцінювання якості води, важливим є питання удосконалення методології моніторингу, яке дозволило б оперативно реагувати на зміни у стані водних ресурсів і враховувати специфіку транскордонного басейну. Таким чином, у перспективі дослідження повинні спрямовуватись на виявлення тенденцій змін якості поверхневих вод річки Західний Буг, розробку ефективних управлінських рішень для мінімізації впливу на них забруднень та забезпечення сталого водокористування.

Метою статті є здійснення екологічної оцінки якості поверхневих вод річки Західний Буг у межах прикордоння України та Польщі.

Матеріали та методи. У роботі використовувалися методи: систематизації та узагальнення інформації, отриманої в ході виконання досліджень; аналізу й синтезу – при аналізі показників стану поверхневих вод; порівняльно-географічний – при дослідженні змін параметрів якості води в річці під впливом різних чинників, абстрактно-логічний – при узагальненні результатів досліджень. У сучасних умовах проблеми комплекс-

ної оцінки якості поверхневих вод набувають особливого значення та є одними із головних передумов водоохоронної діяльності [16]. Дослідження здійснено на основі аналізу основних гідрохімічних показників якості води, представлених Басейновим управлінням водних ресурсів річок Західного Бугу та Сяну [1] та Регіональним офісом водних ресурсів у Волинській області [9] з використанням методики екологічної оцінки якості поверхневих вод за відповідними категоріями [11] у трьох пунктах спостереження на р. Західний Буг (1 – у с. Забужжя; 2 – у м. Устилуг, на 500 м нижче впадіння р. Луга; 3 – у с. Амбуків, на 500 м нижче впадіння р. Хучва) впродовж 2021–2023 рр.

Для визначення відповідності якості води річки нормативним показникам використано ГДК забруднюючих речовин для вод рибогосподарського використання [7].

Екологічна оцінка якості річкових вод базувалася на аналізі середніх величин показників трьох блоків, таких як: індекс забруднення води компонентами сольового складу (I_1); індекс трофо-сапробіологічних (еколого-санітарних) показників (I_2); індекс вмісту специфічних речовин токсичної дії (I_3). Інтегральний екологічний індекс (I_e) обчислювався як середнє з суми осеред-

нених показників трьох блокових індексів [11].

У дослідженні якості річкової води до сольового блоку (I_1) включено сульфати, хлориди та мінералізацію води. Трофо-сапробіологічний (еколого-санітарний) блок (I_2) містив завислі речовини, азот амонійний, нітрати й нітроти, фосфати, БСК₅, розчинений кисень. У блоці специфічних показників токсичної дії (I_3) враховано: марганець, мідь та залізо загальне.

Інтегральний екологічний індекс якості води та блокові індекси розраховуються окремо для середніх і найгірших значень категорій. Цей метод дозволяє порівнювати якість води як на окремих ділянках одного водного об'єкта, так і між водними об'єктами різних регіонів. Він базується на розрахунку інтегрального індексу якості води, що сприяє більш точній та деталізованій оцінці її стану. Усі розраховані показники якості води поділяються на п'ять класів і сім категорій, кожна з яких має визначену назву, відображає відповідний стан води та рівень її забруднення (табл. 1) [11].

У статті представлено тренди змін окремих показників, які демонструють загальні тенденції трансформування стану річки, а також подано рівняння тренду та коефіцієнти детермінації.

Таблиця 1 / Table 1

Класи та категорії поверхневих вод за екологічною класифікацією /
Classes and categories of inland surface waters according to ecological classification *, **

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 (В)	Добрі (Д)		Задовільні (З)		Погані (П)	Дуже погані (ДП)
	Відмінні (В)	Дуже добрі (ДД)	Добрі (Д)	Задовільні (З)	Посередні (Пс)	Погані (П)	Дуже погані (ДП)
Назва класів і категорій якості вод за ступенем їх чистоти (забрудненості)	Дуже чисті (ДЧ)	Чисті (Ч)		Забруднені (Зб)		Брудні (Б)	Дуже брудні (ДБ)
	Дуже чисті (ДжЧ)	Чисті (Ч)	Досить чисті (ДЧ)	Слабко забруднені (СЗ)	Помірно забруднені (ПЗ)	Брудні (Б)	Дуже брудні (ДБ)

*Джерело: [11].

**У дужках подано аббревіатуру назв класів та категорій використану у табл. 2–4.

Виклад основного матеріалу дослідження.

Річка Західний Буг є важливим транскордонним водотоком (рис. 1, за даними Держводагентства), який відіграє значну роль у забезпеченні водними ресурсами прикордонних регіонів України та Польщі. У цьому контексті, ефективне басейнове управління є одним з основних чинників забезпечення сталого водокористування. А його реалізація, у свою чергу, потребує врахування оцінки екологічного стану річки [2; 3; 8].

У дослідженні здійснено аналіз показників якості поверхневих вод у трьох пунктах спостереження р. Західний Буг на кордоні з Республікою Польща (1 – с. Забужжя, 2 – м. Устилуг, 3 – с. Амбуків (рис. 1)) впродовж 2021–2023 рр.

Одним з основних показників, які відображають якість води, є вміст завислих речовин (ГДК 25,0 мг/дм³) [6; 10]. У 2021–2023 рр. на досліджуваній ділянці зафіксовано одноразове значне їх перевищення у червні 2023 р., спричинене зливо-



Рис. 1. Географічне розташування досліджуваного об'єкта – р. Західний Буг /
Fig. 1. Geographical Location of the Study Object – the Western Bug River

вими дощами: у пункті 1 – в 3,4 рази, у пункті 2 – в 1,4 рази, у пункті 3 – в 2,8 рази. В інші періоди концентрація не перевищувала норми і залишалася в межах 9,29–20,04 мг/дм³.

За результатами дослідження вмісту амонію сольового у поверхневих водах річки встановле-

но, що з 2021 р. до лютого 2022 р. його концентрація перевищувала норму у 1,2–3,4 рази у пунктах 1 та 3. Однак, впродовж 2021–2023 рр. виявлено тенденцію до зменшення цього показника (рис. 2).

Трендові лінії демонструють загальну тенде-

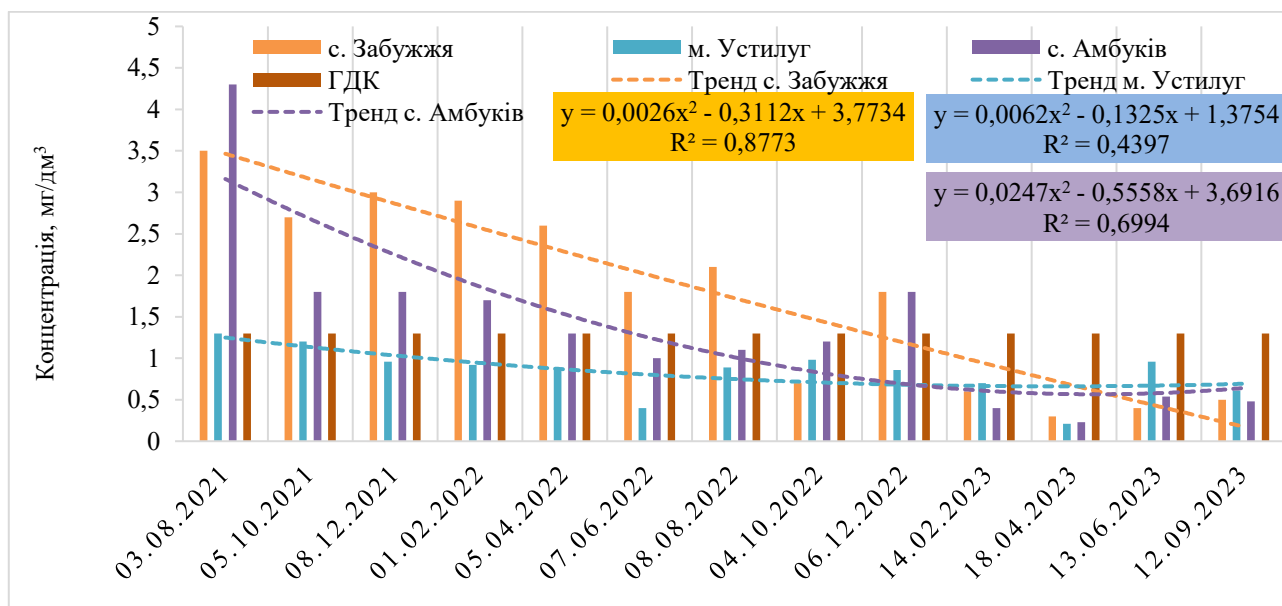


Рис. 2. Тренд концентрації амонію сольового у водах р. Західний Буг /
Fig. 2. Trend of ammonium salt concentration in the waters of the Western Bug River

нцію до зниження концентрації амонію сольового у трьох пунктах спостереження. Найвища узгодженість даних із трендом спостерігається у с. Забужжя ($R^2 = 0,8773$), що свідчить про стабільний спад забруднення. У с. Амбуків і м. Устилуґ концентрації зменшуються, хоч у цих створах можливі коливання рівнів забруднюючих речовин. Загалом, відображення трендовими лініями позитивної динаміки зменшення забруднення свідчить про зниження антропогенного навантаження.

Аналіз динаміки вмісту нітратів у водах річки показав, що їх значення були на рівні, не вищому ГДК (40 мг/дм^3) та коливалися в межах $4,2\text{--}20,38 \text{ мг/дм}^3$.

Щодо вмісту нітритів, то в 2021–2023 рр. їх значення були зафіксовані на рівні ГДК, окрім значних окремих перевищень у серпні 2021 р. – $0,87 \text{ мг/дм}^3$, червні 2023 р. – $0,4 \text{ мг/дм}^3$ в гідростворі с. Амбуків; у жовтні 2022 р. – $0,44 \text{ мг/дм}^3$ поблизу с. Забужжя, які можуть бути пов'язані із потраплянням у річку недостатньо очищених стіч-

них вод, зливом агрохімікатів із сільськогосподарських угідь після опадів, а також інтенсифікацією біохімічних процесів розкладу органічних речовин у воді.

Концентрація фосфатів у воді р. Західний Буг упродовж досліджуваного відтинку часу не перевищувала значення ГДК ($2,14 \text{ мг/дм}^3$), окрім одиного випадку в серпні 2022 року – $3,85 \text{ мг/дм}^3$ у створі с. Амбуків. Рівень концентрації хлоридів не перевищував ГДК (300 мг/дм^3) і становив $25,65\text{--}105,06 \text{ мг/дм}^3$.

Впродовж усього періоду спостерігалось незначне перевищення ГДК (100 мг/дм^3) за вмістом сульфатів, з підвищенням у серпні 2021 року (рис. 3), ймовірно через скиди недостатньо очищених стічних вод. Трендові лінії вказують на покращення якості води, проте низькі коефіцієнти детермінації в м. Устилуґ і с. Амбуків свідчать про локальні коливання, які потребують подальшого вивчення для ефективного управління водними ресурсами.

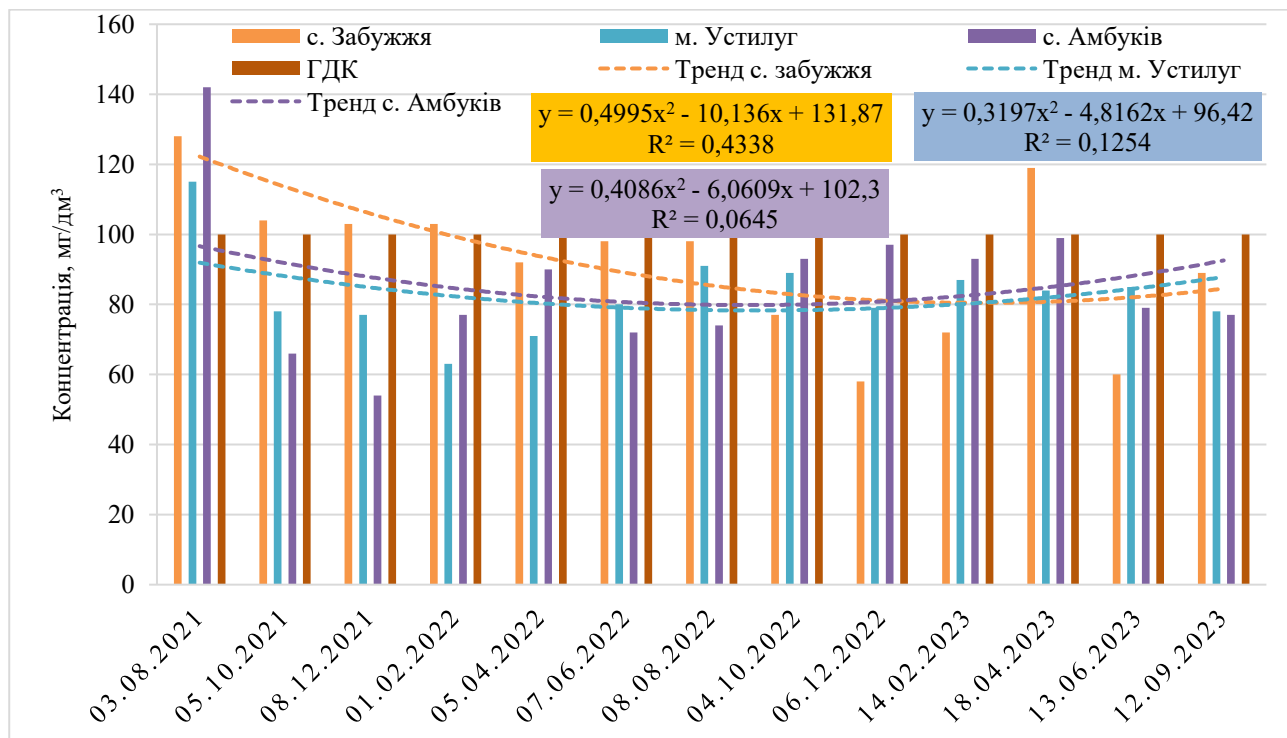


Рис. 3. Тренд концентрації сульфатів у р. Західний Буг /
Fig. 3. Trend of sulfate concentration in the Western Bug River

Визначені значення індексу забруднення сольовими компонентами відображені на рис. 4. Аналіз трендів свідчить про позитивну динаміку зниження індексу сольового складу поверхневих вод у с. Забужжя та м. Устилуґ, що вказує на зменшення антропогенного впливу, тоді як у с. Амбуків індекс залишається стабільним і це потребує додаткових досліджень.

За показниками індексу I_1 поверхневі води р. Західний Буг віднесені до відповідних класів та

категорій якості води. У табл. 2 представлені дані пункту спостереження 1 – с. Забужжя, 2 – м. Устилуґ, 3 – с. Амбуків.

У 2021–2023 рр. значення індексу забруднення сольовими компонентами у с. Забужжя знаходилося в межах $2,5\text{--}4$. До лютого 2022 р. якість води оцінювалася як «задовільна» (забруднена, слабо забруднена). У жовтні 2022 р., квітні та вересні 2023 р. клас якості за станом покращився до «доброї», а за ступенем чистоти – до «чистої» або

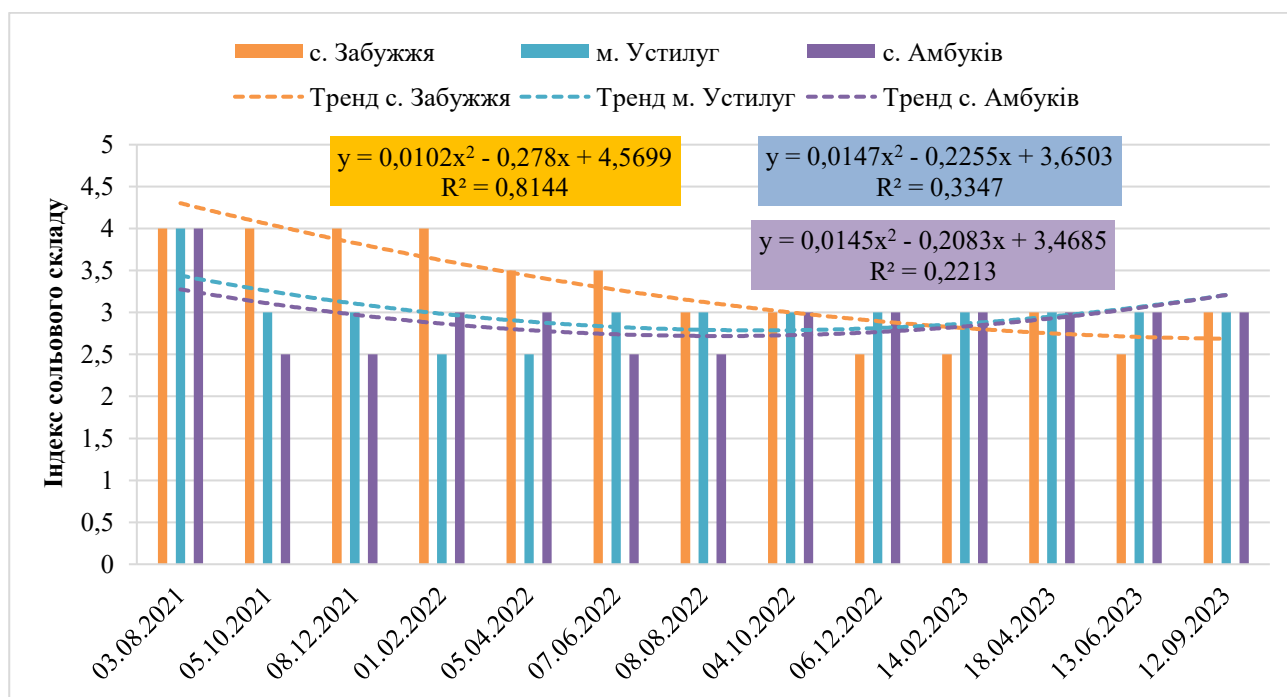


Рис. 4. Тренд індексу забруднення сольовими компонентами, I_1 /
Fig. 4. Trend of the pollution index by salt composition components, I_1

«досить чистої». Найвищі показники якості зафіксовано у грудні 2022 р., лютому та червні 2023 р., коли води відносилися до класу «добрі» і категорії «чисті» за обома критеріями.

У 2021–2023 рр. індекс забруднення компонентами сольового складу у м. Устилуг коливався в межах 2,5–4. Загалом якість води оцінювалася як «добра» (чиста, досить чиста), за винятком лютого та квітня 2022 р., коли показники покращилися до «дуже добрих» (чистих). Водночас у серпні 2021 р. спостерігалось погіршення: води відносилися до класу «задовільних» (забруднених, слабо забруднених). Це пов'язано з підвищенням вмістом забруднюючих речовин, зумовленим скиданням недостатньо очищених стічних вод, змивом забруднень із поверхні ґрунту після опадів, а також посиленням впливу антропогенних чинників у літній період.

За індексом забруднення компонентами сольового складу у с. Амбуків поверхневі води річки загалом належали до класу «добрі» (чисті, досить чисті). У жовтні та грудні 2021 р., червні й серпні 2022 р. якість вод покращилася до «дуже добрих» (чистих). Водночас у серпні 2021 р. спостерігалось погіршення – води оцінювалися як «задовільні» (забруднені, слабо забруднені).

Тренд індексу трофо-сапробіологічних показників представлено на рис. 5.

Найбільші зміни значень I_2 помітні у створі річки в с. Амбуків, де тренд демонструє більше коливань і зростання, що пов'язано з підвищенням надходженням органічних речовин, ймовірно, внаслідок скидів недостатньо очищених стічних

вод, змиванням компонентів добрив із сільськогосподарських угідь, а також інтенсифікацією біологічних процесів у воді. Оцінку якості води за значеннями індексу I_2 представлено у табл. 3.

У 2021–2023 рр. індекс трофо-сапробіологічних показників (I_2) у с. Забужжя коливався в межах 3–4,33. Загалом якість води оцінювалася як «задовільна» (забруднена, слабо забруднена). У квітні 2023 р. показники покращилися до «добрих» (чистих, досить чистих).

У 2021–2023 рр. індекс трофо-сапробіологічних показників у м. Устилуг коливався в межах 3,33–4,33, що відповідало класу «задовільних» вод (забруднених, слабо забруднених). У квітні 2023 р. якість покращилася до «доброї» (чистої, досить чистої), що можна пов'язати з похолоданням, яке сприяло зменшенню біологічної активності та уповільненню процесів органічного забруднення.

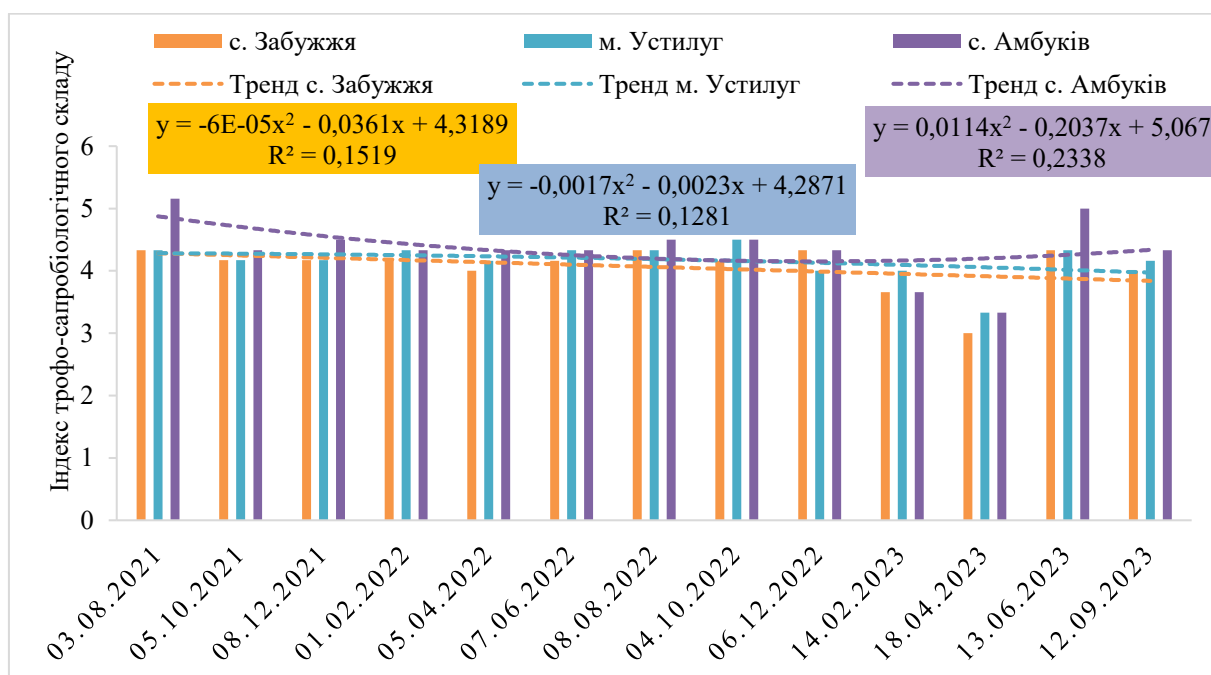
Протягом досліджуваного періоду індекс трофо-сапробіологічних показників у с. Амбуків свідчив про «задовільну» якість води (забруднену, слабо забруднену), що, ймовірно, пов'язано зі скидами недостатньо очищених стічних вод, змивом добрив і розкладом органічної речовини у воді. У серпні 2021 р. та червні 2023 р. якість погіршувалася до «посередньої» (помірно забрудненої). Хоч у квітні 2023 р. води покращувалися до «добрих» (чистих, досить чистих).

Аналіз ліній тренду індексу специфічних показників токсичної дії у трьох пунктах спостереження показав їх співпадіння, що свідчить про відсутність локальних впливів, характерних для ок-

Класи та категорії якості води згідно блокового індексу I_1 /
Classes and categories of water quality according to the value of the block index I_1 *

Дата відбору проб	Пункт спостереження	I_1	Клас якості	Категорія якості	Клас якості за станом	Категорія якості за станом	Клас якості за ступенем чистоти	Категорія якості за ступенем чистоти
3.08.2021	1	4	III	4	3	3	3б	С3
	2	4	III	4	3	3	3б	С3
	3	4	III	4	3	3	3б	С3
5.10.2021	1	4	III	4	3	3	3б	С3
	2	3	II	3	Д	Д	Ч	ДЧ
	3	2,5	II	2	Д	ДД	Ч	Ч
8.12.2021	1	4	III	4	3	3	3б	С3
	2	3	II	3	Д	Д	Ч	ДЧ
	3	2,5	II	2	Д	ДД	Ч	Ч
1.02.2022	1	4	III	4	3	3	3б	С3
	2	2,5	II	2	Д	ДД	Ч	Ч
	3	3	II	3	Д	Д	Ч	ДЧ
5.04.2022	1	3,5	II	3	Д	Д	Ч	ДЧ
	2	2,5	II	2	Д	ДД	Ч	Ч
	3	3	II	3	Д	Д	Ч	ДЧ
7.06.2022	1	3,5	II	3	Д	Д	Ч	ДЧ
	2	3	II	3	Д	Д	Ч	ДЧ
	3	2,5	II	2	Д	ДД	Ч	Ч
8.08.2022	1	3	II	3	Д	Д	Ч	ДЧ
	2	3	II	3	Д	Д	Ч	ДЧ
	3	2,5	II	2	Д	ДД	Ч	Ч
4.10.2022	1	3	II	3	Д	Д	Ч	ДЧ
	2	3	II	3	Д	Д	Ч	ДЧ
	3	3	II	3	Д	Д	Ч	ДЧ
6.12.2022	1	2,5	II	2	Д	ДД	Ч	Ч
	2	3	II	3	Д	Д	Ч	ДЧ
	3	3	II	3	Д	Д	Ч	ДЧ
14.02.2023	1	2,5	II	2	Д	ДД	Ч	Ч
	2	3	II	3	Д	Д	Ч	ДЧ
	3	3	II	3	Д	Д	Ч	ДЧ
18.04.2023	1	3	II	3	Д	Д	Ч	ДЧ
	2	3	II	3	Д	Д	Ч	ДЧ
	3	3	II	3	Д	Д	Ч	ДЧ
13.06.2023	1	2,5	II	2	Д	ДД	Ч	Ч
	2	3	II	3	Д	Д	Ч	ДЧ
	3	3	II	3	Д	Д	Ч	ДЧ
12.09.2023	1	3	II	3	Д	Д	Ч	ДЧ
	2	3	II	3	Д	Д	Ч	ДЧ
	3	3	II	3	Д	Д	Ч	ДЧ

*Джерело: розроблено авторами на основі [11].

Рис. 5. Тренд індексу трофо-сапробіологічного складу, I_2 / Fig. 5. Trend of the tropho-saprobological index, I_2

Таблиця 3 / Table 3

Класи та категорії якості води згідно блокового індексу I_2 /
Classes and categories of water quality according to the value of block index I_2^*

Дата відбору проб	Пункт спостереження	I_2	Клас якості	Категорія якості	Клас якості за станом	Категорія якості за станом	Клас якості за ступенем чистоти	Категорія якості за ступенем чистоти
3.08.2021	1	4,33	III	4	3	3	36	C3
	2	4,33	III	4	3	3	36	C3
	3	5,16	III	5	3	Пс	36	ПЗ
5.10.2021	1	4,17	III	4	3	3	36	C3
	2	4,17	III	4	3	3	36	C3
	3	4,33	III	4	3	3	36	C3
8.12.2021	1	4,17	III	4	3	3	36	C3
	2	4,17	III	4	3	3	36	C3
	3	4,5	III	4	3	3	36	C3
1.02.2022	1	4,17	III	4	3	3	36	C3
	2	4,33	III	4	3	3	36	C3
	3	4,33	III	4	3	3	36	C3
5.04.2022	1	4	III	4	3	3	36	C3
	2	4,16	III	4	3	3	36	C3
	3	4,33	III	4	3	3	36	C3
7.06.2022	1	4,16	III	4	3	3	36	C3
	2	4,33	III	4	3	3	36	C3
	3	4,33	III	4	3	3	36	C3
8.08.2022	1	4,33	III	4	3	3	36	C3
	2	4,33	III	4	3	3	36	C3
	3	4,5	III	4	3	3	36	C3
4.10.2022	1	4,16	III	4	3	3	36	C3
	2	4,5	III	4	3	3	36	C3
	3	4,5	III	4	3	3	36	C3

Продовження таблиці 3 / Continuation of the table 3

6.12.2022	1	4,33	III	4	3	3	36	СЗ
	2	4	III	4	3	3	36	СЗ
	3	4,33	III	4	3	3	36	СЗ
14.02.2023	1	3,66	III	4	3	3	36	СЗ
	2	4	III	4	3	3	36	СЗ
	3	3,66	III	4	3	3	36	СЗ
18.04.2023	1	3	II	3	Д	Д	Ч	ДЧ
	2	3,33	II	3	Д	Д	Ч	ДЧ
	3	3,33	II	3	Д	Д	Ч	ДЧ
13.06.2023	1	4,33	III	4	3	3	36	СЗ
	2	4,33	III	4	3	3	36	СЗ
	3	5	III	5	3	Пс	36	ПЗ
12.09.2023	1	4	III	4	3	3	36	СЗ
	2	4,16	III	4	3	3	36	СЗ
	3	4,33	III	4	3	3	36	СЗ

*Джерело: розроблено авторами на основі [11].

ремих пунктів. Однакові значення індексу та спільна лінія тренду ($y = 0,0055x^2 - 0,0934x + 2,3462$; $R^2 = 0,4762$) вказують на глобальний характер змін, що охоплюють увесь досліджуваний регіон.

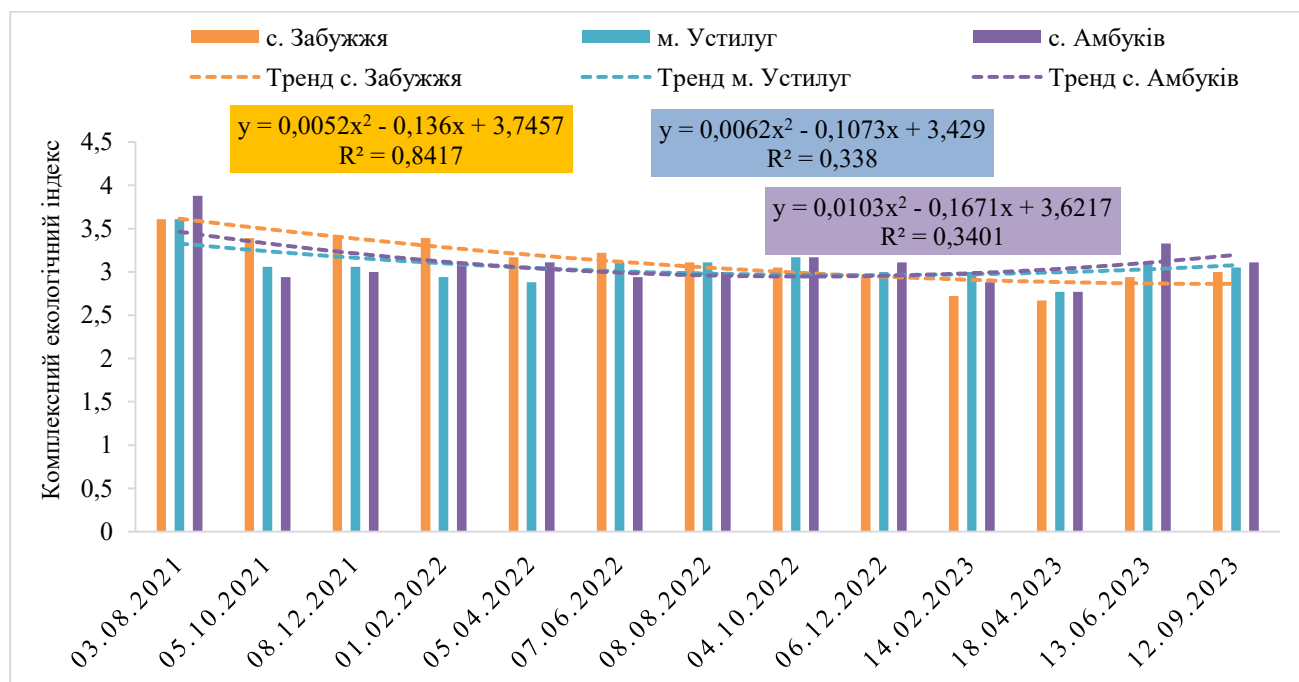
Індекс специфічних показників токсичної дії (I_3) у трьох створах упродовж досліджуваного періоду коливався в межах 2–2,5, що відповідає категорії якості 2 та класу якості II. Відповідно, поверхневі води річки оцінено як «добрі» за станом та «чисті» за ступенем чистоти.

Завершальним етапом дослідження є визначення комплексного екологічного індексу стану поверхневих вод річки (рис. 6). Найвищу відповідність тренду даним спостереження бачимо у с. Забужжя, що свідчить про стабільність екологічних умов у цій локації, тоді як у м. Устилуг та с.

Амбуків варіативність більша, що може свідчити про локальні впливи. Загалом усі тренди вказують на відносну стабільність екологічного стану з потенційними ознаками покращення в останній період.

Класи та категорії якості води р. Західний Буг за комплексним екологічним індексом I_e впродовж 2021–2023 рр. представлено у табл. 4.

Упродовж досліджуваного періоду значення комплексного екологічного індексу I_e (2,67–3,881) свідчило про «добру» якість води (чисту, досить чисту). Однак у серпні 2021 р. якість погіршилася до «задовільної» (забрудненої, слабо забрудненої). Погіршення спричинене підвищенням надходженням забруднюючих речовин, зокрема через скиди недостатньо очищених стічних вод, змив

Рис. 6. Тренд комплексного екологічного індексу, I_e / Fig. 6. Trend of the integrated ecological index, I_e

Таблиця 4/ Table 4

Класи та категорії якості води згідно комплексного екологічного індексу I_e /
Classes and categories of water quality according to the value of the integrated ecological index, I_e *

Дата відбору проб	Пункт спостереження	I_e	Клас якості	Категорія якості	Клас якості за станом	Категорія якості за станом	Клас якості за ступенем чистоти	Категорія якості за ступенем чистоти
3.08.2021	1	3,61	III	4	3	3	36	C3
	2	3,61	III	4	3	3	36	C3
	3	3,88	III	4	3	3	36	C3
5.10.2021	1	3,39	II	3	Д	Д	Ч	ДЧ
	2	3,06	II	3	Д	Д	Ч	ДЧ
	3	2,94	II	3	Д	Д	Ч	ДЧ
8.12.2021	1	3,39	II	3	Д	Д	Ч	ДЧ
	2	3,06	II	3	Д	Д	Ч	ДЧ
	3	3	II	3	Д	Д	Ч	ДЧ
1.02.2022	1	3,39	II	3	Д	Д	Ч	ДЧ
	2	2,94	II	3	Д	Д	Ч	ДЧ
	3	3,11	II	3	Д	Д	Ч	ДЧ
5.04.2022	1	3,17	II	3	Д	Д	Ч	ДЧ
	2	2,88	II	3	Д	Д	Ч	ДЧ
	3	3,11	II	3	Д	Д	Ч	ДЧ
7.06.2022	1	3,22	II	3	Д	Д	Ч	ДЧ
	2	3,11	II	3	Д	Д	Ч	ДЧ
	3	2,94	II	3	Д	Д	Ч	ДЧ
8.08.2022	1	3,11	II	3	Д	Д	Ч	ДЧ
	2	3,11	II	3	Д	Д	Ч	ДЧ
	3	3	II	3	Д	Д	Ч	ДЧ
4.10.2022	1	3,05	II	3	Д	Д	Ч	ДЧ
	2	3,17	II	3	Д	Д	Ч	ДЧ
	3	3,17	II	3	Д	Д	Ч	ДЧ
6.12.2022	1	2,94	II	3	Д	Д	Ч	ДЧ
	2	3	II	3	Д	Д	Ч	ДЧ
	3	3,11	II	3	Д	Д	Ч	ДЧ
14.02.2023	1	2,72	II	3	Д	Д	Ч	ДЧ
	2	3	II	3	Д	Д	Ч	ДЧ
	3	2,88	II	3	Д	Д	Ч	ДЧ
18.04.2023	1	2,67	II	3	Д	Д	Ч	ДЧ
	2	2,77	II	3	Д	Д	Ч	ДЧ
	3	2,77	II	3	Д	Д	Ч	ДЧ
13.06.2023	1	2,94	II	3	Д	Д	Ч	ДЧ
	2	3,11	II	3	Д	Д	Ч	ДЧ
	3	3,33	II	3	Д	Д	Ч	ДЧ
12.09.2023	1	3	II	3	Д	Д	Ч	ДЧ
	2	3,05	II	3	Д	Д	Ч	ДЧ
	3	3,11	II	3	Д	Д	Ч	ДЧ

*Джерело: розроблено авторами на основі [11].

агрохімікатів та посилення біологічних процесів у літній період.

Висновки. Проведений аналіз стану поверхневих вод р. Західний Буг засвідчив, що вміст за-

бруднюючих речовин переважно знаходився в межах допустимих норм. Поодинокі перевищення стосувалися фосфатів, завислих речовин та амонію сольового, однак зафіксовано тенденцію до

зменшення концентрації останнього протягом досліджуваного періоду, що пов'язане з підвищенням рівня очищення стічних вод, природними процесами нітрифікації, а також гідрометеорологічними умовами.

Якість води за індексом забруднення компонентами сольового складу коливалася від «задовільної» до «доброї», демонструючи покращення у другій половині досліджуваного періоду. Трофосапробіологічний індекс свідчить про слабе забруднення води у всіх створах, тоді як специфічні показники токсичної дії підтверджують її «чистий» та «добрий» стан. Упродовж досліджуваного періоду вода залишалася екологічно безпечною, з

мінімальним впливом токсичних речовин. Комплексний екологічний індекс підтверджує загальнодобру якість і відносну чистоту води р. Західний Буг у всіх пунктах спостереження.

Однак, для покращення якості поверхневих вод р. Західний Буг рекомендується посилити контроль за скиданням стічних вод, впровадити сучасні очисні технології, обмежити використання агрохімікатів та активізувати еколого-просвітницьку роботу серед населення. Важливими є розширення транскордонної співпраці та модернізація систем моніторингу, що сприятиме забезпеченню сталого управління водними ресурсами.

Список використаних джерел

1. Басейнове управління водних ресурсів річок Західного Бугу та Сяну. (n.d.). Офіційний сайт. <https://buvrzbts.davr.gov.ua/> (Accessed October 20, 2024)
2. Караїм, О. А., Караїм, В. П., Бєдункова, О. О., Лавринюк, З. В., & Джам, О. А. (2024). Оцінка антропогенного впливу в аспекті басейнового екологічного управління. Вісник НУВГП. Сільськогосподарські науки: збірник наукових праць, 1(105), 97–119. <https://doi.org/10.31713/vs120247>
3. Ковальчук, І. П. (2009). Управління водогосподарською та водоохоронною діяльністю (на прикладі басейну Західного Бугу). Український географічний журнал, (3), 49–53.
4. Коніщук, В., Шумисай, І., & Мартиненко, В. (2023). Екологічний та гідрохімічний аналіз річок природного заповідника «Древлянський» (Україна). Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна. Серія «Геологія. Географія. Екологія», 58, 336–349. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2023-58-25>
5. Лисиця, А. В., Лико, Д. В., Портухай, О. І., Логвиненко, І. П., & Лико, С. М. (2024). Оцінка якості поверхневих вод транскордонної річки Західний Буг за вмістом сполук нітрогену. Природнича освіта та наука, 5, 67–74. <https://doi.org/10.32782/NSER/2024-5.13>
6. Міністерство захисту довкілля та природних ресурсів України. (2021). Методичні рекомендації з розроблення нормативів гранично-допустимого скидання забруднюючих речовин у водні об'єкти із зворотними водами (Наказ № 173). <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0173926-21#Text> (Accessed November 26, 2024)
7. Некос, А., Боярин, М., Цьось, О., Нетробчук, І., & Волошин, В. (2023). Визначення макрофітового індексу (MIR) як індикатора якості води у річці Прип'ять. Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна. Серія «Геологія. Географія. Екологія», 58, 360–370. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2023-58-27>
8. Павліха, Н. В., Яков'юк, В. А., & Цимбалюк, І. О. (2023). Управління транскордонними водними ресурсами на засадах сталого розвитку: монографія. Луцьк: Вежа-Друк.
9. Регіональний офіс водних ресурсів у Волинській області. (n.d.). Офіційний сайт. <https://vodres.gov.ua/> (Accessed November 20, 2024)
10. Романенко, В. Д., Жукинський, В. М., & Оксіюк, О. П. (2001). Методика встановлення і використання екологічних нормативів якості поверхневих вод суші та естуаріїв України. Київ: Освіта.
11. Романенко, В. Д., Жукинський, В. М., & Оксіюк, О. П. (1998). Методика екологічної оцінки якості поверхневих вод за відповідними категоріями. Київ: Символ-Т.
12. Ухань, О., & Осадча, Н. (2023). Навантаження біогенними елементами та органічними речовинами річок басейну Дону (суббасейн р. Сіверський Донець). Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна. Серія «Геологія. Географія. Екологія», 59, 320–328. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2023-59-24>
13. Фесюк, В. О., Льїн, Л. В., Мороз, І. А., & Льїна, О. В. (2020). Екологічна оцінка якості води різномісних озер Волинської області, що інтенсивно використовуються в рекреації. Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна. Серія «Геологія. Географія. Екологія», 52, 236–250. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2020-52-17>
14. Basiuk, T., Gopchak, I., & Yatsyk, A. (2023). Ecological condition of river basins of Western Polesie of Ukraine. In A. Rokochinskiy, L. Kuzmych, & P. Volk (Eds.), *Handbook of Research on Improving the Natural and Ecological Conditions of the Polesie Zone* (pp. 384–401). IGI Global Scientific Publishing. <https://doi.org/10.4018/978-1-6684-8248-3.ch024>
15. Đurišić-Mladenović, N., Živančev, J., Antić, I., Rakić, D., Buljovčić, M., Pajin, B., Llorca, M., & Farre, M. (2024). Occurrence of contaminants of emerging concern in different water samples from the lower part of the Danube River Middle Basin – A review. *Environmental Pollution*, 363(Part 1), 125128. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2024.125128>
16. European Union. (2000). Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council establishing a framework for Community action in the field of water policy (EU Water Framework Directive). *Official Journal of the European Communities*, L 327/1, 1–118.
17. Gopchak, I., Kalko, A., Basiuk, T., Pinchuk, O., Gerasimov, I., Yaromenko, O., & Shkiryntets, V. (2020). Assessment of surface water pollution in Western Bug River within the cross-border section of Ukraine. *Journal of Water and Land Development*, 46(VII–IX), 97–104. <https://doi.org/10.24425/jwld.2020.134201>

18. Grzywna, A., Bronowicka-Mielniczuk, U., & Polec, K. (2021). Spatio-temporal changes of water pollution, and its sources and consequences in the Bug River, Poland. *Desalination and Water Treatment*, 243, 18–36. <https://doi.org/10.5004/dwt.2021.27848>
19. Odnorih, Z., Manko, R., Malovanyy, M., & Soloviy, K. (2020). Results of surface water quality monitoring of the Western Bug River basin in Lviv Region. *Journal of Ecological Engineering*, 21(3), 18–26. <https://doi.org/10.12911/22998993/118303>
20. Popovych, V., Skrobala, V., Tyndyk, O., & Kaspruk, O. (2024). Hydro-ecological monitoring of heavy metal pollution of water bodies in the Western Bug River basin within the mining-industrial region. *Mining of Mineral Deposits*, 18(4), 139–152. <https://doi.org/10.33271/mining18.04.139>
21. Shakhman, I., & Bystriantseva, A. (2021). Water quality assessment of the surface water of the Southern Bug River basin by complex indices. *Journal of Ecological Engineering*, 22(1), 195–205. <https://doi.org/10.12911/22998993/128858>

Внесок авторів: всі автори зробили рівний внесок у цю роботу

Конфлікт інтересів: автори повідомляють про відсутність конфлікту інтересів

Ecological assessment of surface water quality of the Western Bug river in the border region of Ukraine and Poland

Ivan Kovalchuk¹

DSc (Geography), Professor, Head of the Department of Geodesy and Cartography,
¹ National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine;

Olha Karaim²

PhD (Economics), Associate Professor,

Department of Ecology and Protection of Environment,

² Lesya Ukrainka Volyn National University, Lutsk, Ukraine;

Olena Dzham²

PhD (Chemistry), Associate Professor,

Department of Ecology and Protection of Environment;

Zoryana Lavrynyuk²

PhD (Chemistry), Associate Professor,

Department of Ecology and Protection of Environment;

Volodymyr Karaim²

PhD's degree student

ABSTRACT

The **purpose** of the work is to conduct an environmental assessment of the surface water quality of the Western Bug River within the border region of Ukraine and Poland.

Methods. The study employed methods of generalization and systematization, analysis and synthesis, comparative, abstract-logical, and sequential approaches.

Results. An analysis was conducted on the content of major pollutants at three observation points along the Western Bug River (1 – Zabužje village, border with the Republic of Poland; 2 – Ustyluh city, 500 m downstream from the confluence of the Luga River, border with the Republic of Poland; 3 – Ambukiv village, 500 m downstream from the confluence of the Khuchva River, border with the Republic of Poland) in 2021–2023. It was established that the concentration of most pollutants in the surface waters of the Western Bug River remained within the normative limits during the study period. Occasional exceedances were observed for suspended solids and phosphates across all observation points. In the first half of the study period, an excess of ammonium salt concentrations was noted, but a gradual decrease in this parameter was observed from 2021 to 2023. The concentration of nitrites remained within permissible limits at all observation points throughout the study period. According to the pollution index for salt composition components, the water quality of the Western Bug River improved over time. In Zabužje, it ranged from “satisfactory” (until February 2022) to “good” (until September 2023), while in Ustyluh, it remained consistently “good”. At the Ambukiv observation point, the water was classified as “good” with a “very good” category, remaining “clean” and “fairly clean” throughout the period. The tropho-saprobic index indicates slight pollution at all observation sites. The water was classified as “satisfactory” in terms of condition, while its purity ranged from “polluted” to “slightly polluted”. However, based on the index of specific toxic indicators, the water at all sites remained “good” to “very good” in condition and consistently “clean”. The comprehensive environmental index confirmed an overall “good” condition of surface waters at all sites from 2021 to 2023, with purity levels classified as “clean” and “fairly clean.” Based on the comprehensive environmental index, the surface waters of the Western Bug River in 2021–2023 at all three observation sites were characterized as “good” in terms of water quality class based on condition, “good” in terms of quality category based on condition, “clean” in terms of water purity class, and “fairly clean” in terms of purity category.

Conclusions. The assessment of the ecological state of the Western Bug River from 2021 to 2023 indicates that its surface waters largely meet the normative quality standards. A gradual improvement in parameters, particularly a reduction in ammonium salt concentration, has been observed. According to the comprehensive environmental index, the waters at all three observation sites are characterized as “good” and “clean”.

Keywords: transboundary river, Western Bug, surface waters, water quality assessment, monitoring, environmental control, ecological status, pollutants, water resource management.

References

1. Basin Administration of Water Resources of the Western Bug and Sian. (n.d.). Official website. Retrieved October 20, 2024, from <https://buvrzbts.davr.gov.ua/>
2. Karaim, O. A., Karaim, V. P., Bedunkova, O. O., Lavryniuk, Z. V., & Dzhum, O. A. (2024). Assessment of anthropogenic impact in the aspect of basin ecological management. *Bulletin of NUVGP. Agricultural Sciences*, (1), 97–119. <https://doi.org/10.31713/vs120247> [in Ukrainian].
3. Kovalchuk, I. P. (2009). Water management and water protection activities management (on the example of the Western Bug basin). *Ukrainian Geographical Journal*, (3), 49–53. [in Ukrainian].
4. Konishchuk, V., Shumihai, I., & Martynenko, V. (2023). Ecological and hydrochemical analysis of rivers in the “Drevlianskyi” Nature Reserve (Ukraine). *Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, Series “Geology. Geography. Ecology”* (58), 336–349. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2023-58-25> [in Ukrainian].
5. Lysytsia, A. V., Lyko, D. V., Portukhai, O. I., Lohvynenko, I. P., & Lyko, S. M. (2024). Assessment of surface water quality of the transboundary Western Bug River by nitrogen compounds. *Natural Science and Education Research*, (5), 67–74. <https://doi.org/10.32782/NSER/2024-5.13> [in Ukrainian].
6. Ministry of Environmental Protection and Natural Resources of Ukraine. (2021, March 5). Methodological recommendations for developing standards for maximum allowable discharge of pollutants into water bodies with return waters (Order №. 173). Retrieved November 26, 2024, from <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0173926-21#Text>
7. Nekos, A., Boyarin, M., Tsios, O., Netrobchuk, I., & Voloshyn, V. (2023). Determination of the Macrophyte Index (MIR) as an indicator of water quality in the Pripjat River. *Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, Series “Geology. Geography. Ecology”* (58), 360–370. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2023-58-27> [in Ukrainian].
8. Pavlikha, N. V., Yakovyuk, V. A., & Tsybalyuk, I. O. (2023). Management of transboundary water resources on the principles of sustainable development: Monograph. Lutsk: Vezha-Druk [in Ukrainian].
9. Regional Office of Water Resources in the Volyn Region. Official website. Retrieved from <https://vodres.gov.ua/>
10. Romanenko, V. D., Zhukynskyi, V. M., & Oksiyuk, O. P. (2001). Methodology for establishing and using environmental quality standards for surface waters and estuaries of Ukraine. Kyiv: Osvita [in Ukrainian].
11. Romanenko, V. D., Zhukynskyi, V. M., & Oksiyuk, O. P. (1998). Methodology for ecological assessment of surface water quality by relevant categories. Kyiv: Symbol-T [in Ukrainian].
12. Ukhan, O., & Osadcha, N. (2023). Load of biogenic elements and organic substances in the rivers of the Don Basin (sub-basin of the Siverskyi Donets River). *Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, Series “Geology. Geography. Ecology”* (59), 320–328. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2023-59-24> [in Ukrainian].
13. Fesiuk, V. O., Ilyin, L. V., Moroz, I. A., & Ilyina, O. V. (2020). Ecological assessment of water quality in different types of lakes in the Volyn region, which are intensively used for recreation. *Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, Series “Geology. Geography. Ecology”* (52), 236–250. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2020-52-17> [in Ukrainian].
14. Basiuk, T., Gopchak, I., & Yatsyk, A. (2023). Ecological condition of river basins of Western Polesie of Ukraine. In A. Rokochinskyi, L. Kuzmych, & P. Volk (Eds.), *Handbook of Research on Improving the Natural and Ecological Conditions of the Polesie Zone* (pp. 384–401). IGI Global Scientific Publishing. <https://doi.org/10.4018/978-1-6684-8248-3.ch024> [in Ukrainian].
15. Durišić-Mladenović, N., Živančev, J., Antić, I., Rakić, D., Buljovčić, M., Pajin, B., Llorca, M., & Farre, M. (2024). Occurrence of contaminants of emerging concern in different water samples from the lower part of the Danube River Middle Basin – A review. *Environmental Pollution*, 363 (Pt 1), 125128. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2024.125128>.
16. European Union. (2000). EU Water Framework Directive 2000/60/EC. *Official Journal of the European Communities*, L 327/1, 118.
17. Gopchak, I., Kalko, A., Basiuk, T., Pinchuk, O., Gerasimov, I., Yaromenko, O., & Shkiryntets, V. (2020). Assessment of surface water pollution in the Western Bug River within the cross-border section of Ukraine. *Journal of Water and Land Development*, (46), 97–104. <https://doi.org/10.24425/jwld.2020.134201>.
18. Grzywna, A., Bronowicka-Mielniczuk, U., & Polec, K. (2021). Spatio-temporal changes of water pollution, and its sources and consequences in the Bug River, Poland. *Desalination and Water Treatment*, (243), 18–36. <https://doi.org/10.5004/dwt.2021.27848>.
19. Odnorih, Z., Manko, R., Malovanyy, M., & Soloviy, K. (2020). Results of surface water quality monitoring of the Western Bug River Basin in Lviv Region. *Journal of Ecological Engineering*, 21(3), 18–26. <https://doi.org/10.12911/22998993/118303>.
20. Popovych, V., Skrobala, V., Tyndyk, O., & Kaspruk, O. (2024). Hydro-ecological monitoring of heavy metal pollution in the Western Bug River basin within the mining-industrial region. *Mining of Mineral Deposits*, 18(4), 139–152. <https://doi.org/10.33271/mining18.04.139>.
21. Shakhman, I., & Bystriantseva, A. (2021). Water quality assessment of the surface water of the Southern Bug River basin by complex indices. *Journal of Ecological Engineering*, 22(1), 195–205. <https://doi.org/10.12911/22998993/128858>.

Authors Contribution: All authors have contributed equally to this work

Conflict of Interest: The authors declare no conflict of interest

Received 1 March 2025

Accepted 4 April 2025